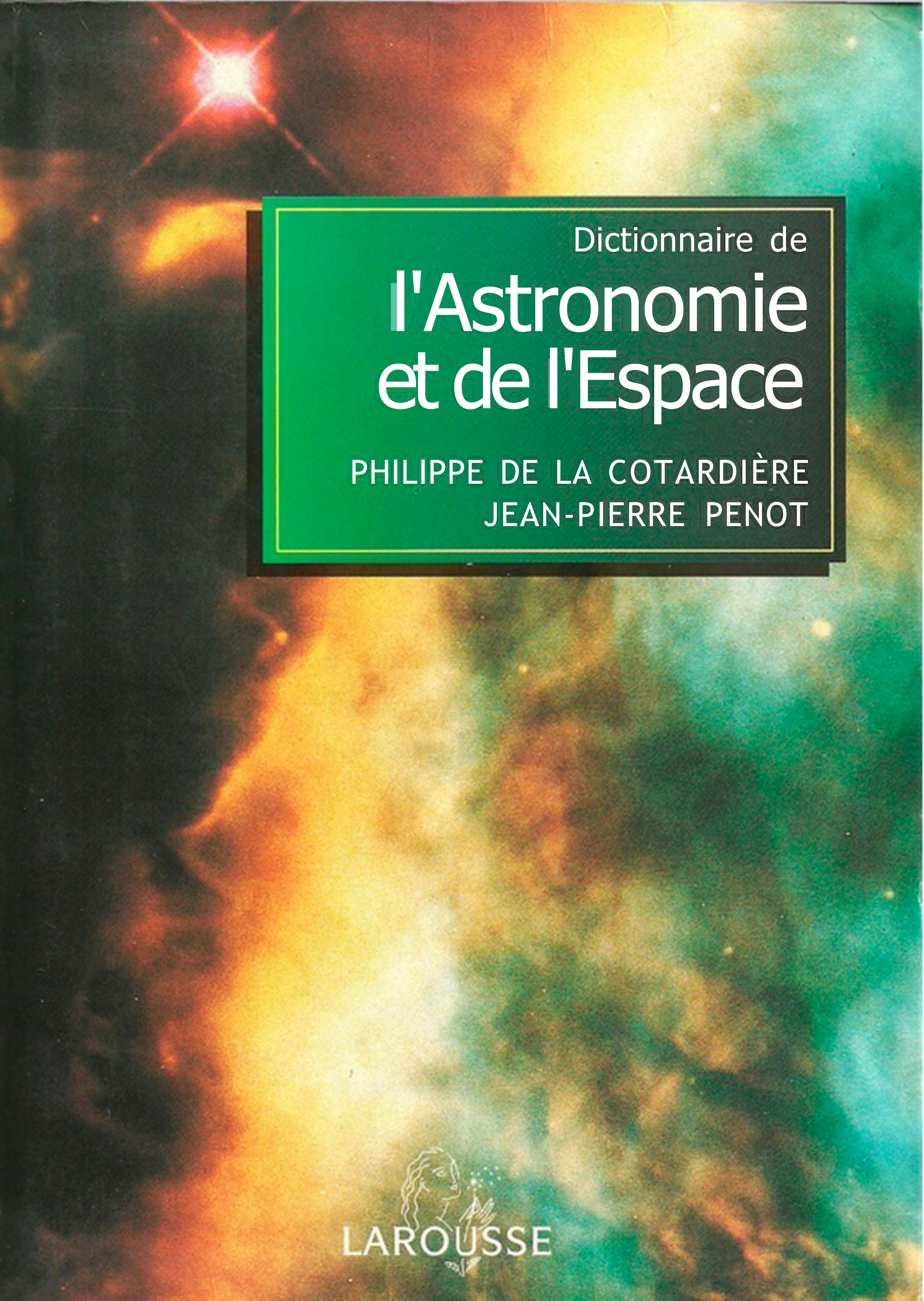


Dictionnaire de

l'Astronomie et de l'Espace

PHILIPPE DE LA COTARDIÈRE
JEAN-PIERRE PENOT

LAROUSSE

Dictionnaire de l'Astronomie et de l'Espace

Philippe de La Cotardière
Jean-Pierre Penot

Dictionnaire de l'Astronomie **et de** l'Espace

LES RÉFÉRENTS

LAROUSSE

21, rue du Montparnasse 75006 Paris

Édition
Philippe de La Cotardière
Michel Zelvelder

Coordination de l'illustration
Jacqueline Pajouès

Illustration
Laurent Blondel
Archives Larousse

Mise en pages et maquette de couverture
Jean Castel

Correction-révision
Service lecture-correction Larousse-Bordas

Fabrication
Marlène Delbeken

Distributeur exclusif au Canada : Messageries ADP, 1751 Richardson, Montréal (Québec).

ISBN 2-03-720332-2

Préface

Depuis qu'il est *sapiens,* sans doute, l'homme contemple les cieux : il y trouve le rêve et la fascination d'un monde aux limites extrêmes.

Un monde qui a livré maintenant bon nombre de ses mystères. Certes, les astronomes n'expliquent pas encore tout et quelques-uns de leurs postulats restent fragiles. Mais que de superbes percées de l'intelligence humaine dans le champ des étoiles ! Des mathématiques à la mécanique, de la physique à la chimie et même à la biologie, toutes les sciences sont conjuguées dans l'explication de l'Univers tel qu'il est aujourd'hui et « tel qu'en lui-même enfin l'éternité le change ».

Les analystes des énigmes astrales ne pouvaient naguère mener leurs enquêtes qu'à distance. Mais voici maintenant que les techniciens leur procurent les moyens d'effectuer des visites domiciliaires, en envoyant des sondes magnifiquement équipées, voire habitées. La conquête de l'espace restera l'une des grandes gloires du XXe siècle, et les astronomes ne sont pas les seuls à bénéficier des techniques spatiales. Pas de météorologie fiable, pas de télécommunications à haute performance, pas de gestion raisonnée des ressources de notre planète sans l'usage des satellites.

Pour qui souhaite s'instruire ou vérifier son savoir sur l'astronomie et sur l'espace, comme en toute autre matière, la consultation d'un dictionnaire est sans nul doute l'une des pratiques les plus attrayantes. L'exercice est à la fois apéritif et nutritif. Et, ici, pas de pavés indigestes, mais des touches précises, utilement complétées par des promenades d'un mot vers d'autres.

Les auteurs sont de parfaites connaisseurs, réputés pour leurs talents scientifiques, techniques et didactiques. L'ouvrage qu'ils nous proposent comble notre attente. Il trouvera sa place dans notre bibliothèque, bien à l'aise sur le rayon des livres familiers que l'on fréquente comme les amis fidèles et sûrs.

Hubert CURIEN

Ancien ministre de la Recherche et de l'Espace
Vice-président de l'Académie des sciences

Collection Les Référents

Sciences humaines

Dictionnaire des drogues. Denis Richard et Jean-Louis Senon.

Dictionnaire des peuples. Sous la direction de Jean-Christophe Tamisier.

Dictionnaire de psychiatrie et de psychopathologie clinique. Sous la direction de Jacques Postel.

Dictionnaire de psychanalyse. Sous la direction de Roland Chemama et Bernard Vandermersch.

Dictionnaire de psychologie. Sous la direction de Norbert Sillamy.

Dictionnaire de sociologie. Sous la direction de Raymond Boudon, Philippe Besnard, Mohamed Cherkaoui et Bernard-Pierre Lécuyer.

Civilisation et religion

Dictionnaire d'histoire et civilisations africaines. Bernard Nantet.

Dictionnaire de la civilisation égyptienne. Guy Rachet.

Dictionnaire des civilisations de l'Orient ancien. Guy Rachet.

Dictionnaire de la civilisation juive. Jean-Christophe Attias et Esther Benbassa.

Dictionnaire de la mythologie grecque et romaine. Sous la direction de Joël Schmidt.

Dictionnaire de la civilisation romaine. Jean-Claude Fredouille

Communication

Dictionnaire des médias. Francis Balle.

Politique

Dictionnaire de la pensée politique. Dominique Colas.

Sciences et techniques

Dictionnaire de biologie. Denis Buican.

Dictionnaire de la micro-informatique. Michel Grenié.

Dictionnaire du règne animal. Sous la direction de Simon Tillier.

a

A 1. Premier satellite artificiel français, mis sur orbite le 26 novembre 1965, au moyen d'un lanceur Diamant A, depuis la base militaire d'Hammaguir (Algérie).
ENCYCL. Cette performance technique hissa la France au rang de puissance spatiale, chronologiquement la troisième après l'ex-Union soviétique et les États-Unis. Ultérieurement, A 1 fut surnommé Astérix.
A 1 était une capsule technologique dont le rôle consistait à transmettre au sol diverses informations sur le comportement du premier Diamant. A1 cessa d'émettre le jour de son lancement, mais se trouve toujours en orbite terrestre.

Å. Symbole de *Vangstrôm.*

A. Type spectral caractérisant, dans la classification de Harvard, les étoiles dont la température superficielle est comprise entre 7 500 et 10 000 K : des étoiles bleues ou blanches dont le spectre est dominé par les raies de l'hydrogène et du calcium ionisé. Exemples : Sirius, Véga, Altaïr.

AAAF. Sigle de Association* Aéronautique et Astronautique de France.

AAS. Sigle de *American Astronomical Society.*

AAVSO. Sigle de *American Association of Variable Stars Observers.*

Abbot (Charles Greeley), astrophysicien américain (Milton, New Hampshire, 1872 - Washington 1973).
Directeur de l'observatoire de la *Smithsonian Institution,* à Washington, de 1907 à 1944, spécialiste de l'étude du Soleil, il a, le premier, déterminé la répartition de l'énergie dans le spectre solaire et donné une valeur de la constante solaire.

aberration n.f. 1. En astrométrie, déplacement apparent d'un astre sur la sphère céleste, dû à la combinaison du mouvement de la Terre dans l'espace et de la vitesse finie de la lumière.
2. En optique, imperfection des images données par un système optique, inhérente au système lui-même.
ENCYCL. Le phénomène de l'aberration de la lumière a été découvert en 1727 par l'Anglais J. Bradley*. Il s'apparente à la variation de la direction de chute de flocons de neige ou de gouttes de pluie que peut constater un observateur selon que celui-ci est immobile ou qu'il se déplace. On distingue l'aberration annuelle, due au mouvement orbital de la Terre, et l'aberration diurne, beaucoup plus faible, liée à la rotation de la Terre sur elle-même. Par suite du mouvement de la Terre autour du Soleil, on v.oit les étoiles décrire en un an dans le ciel de petites ellipses, parallèles au plan de l'orbite terrestre, dont le centre coïncide avec la position réelle des étoiles, et dont le demi-grand axe est égal au rapport des vitesses de la Terre et de la lumière : environ 30/300 000 radian ou, très précisément, 20,495 52" (constante de l'aberration). Ces ellipses nous apparaissent d'autant plus aplaties que les étoiles correspondantes sont plus proches du plan de l'orbite terrestre. L'aberration diurne a une amplitude négligeable pour les étoiles et n'est mesurable que pour les astres du système solaire.

OPTIQUE. À l'absence de similitude parfaite entre l'objet et l'image qu'en donne un système optique, et au manque de netteté de certaines images, on associe trois types d'aberrations : les aberrations géométriques (aberration de sphéricité*, coma*, astigmatisme* et courbure* de champ, distorsion*), les aberrations chromatiques (de position et de grandeur) et les aberrations accidentelles dues à des inhomogénéités des verres, des irrégularités de taille, etc.
Les aberrations géométriques. Elles ne dépendent que de la constitution du système optique. Elles sont dues au fait que les rayons issus d'un même point lumineux ne vont pas tous converger exactement au même point image après la traversée de l'instrument.

Les aberrations chromatiques. Elles intéressent plus particulièrement les systèmes dioptriques (lentilles), où les images se forment par réfraction dans les milieux réfringents. L'indice de réfraction de ces milieux varie avec la longueur d'onde des radiations utilisées, ce qui entraîne une distance focale particulière pour chaque longueur d'onde. Un point, source de lumière polychromatique, possède alors une série d'images monochromatiques réparties le long de l'axe du système optique. En interposant sur le trajet de ces différents faisceaux un écran passant, par exemple, par l'image monochromatique rouge, on obtient pour les images de couleur différente un défaut de mise au point observable sous la forme d'un cercle de diffusion multicolore irisé.

Correction des aberrations. Les aberrations chromatiques peuvent être corrigées en associant des lentilles convergentes et divergentes faites avec des verres d'indices différents *(flint et crovcn).* On corrige par des méthodes similaires les aberrations géométriques. Le choix des combinaisons de lentilles optimales est grandement facilité par l'utilisation de techniques de calcul numérique.

ablation ni. Transformation d'un matériau (par décomposition, fusion, sublimation, etc.) soumis à un intense flux de chaleur. La présence d'un bouclier ablatif à l'avant de certaines capsules spatiales limite l'échauffement cinétique, évite leur destruction et permet leur récupération.

abondance n.f. Proportion des atomes d'un élément chimique présent dans une région de l'espace ou un astre donné, établie par comparaison avec le nombre d'atomes d'un autre élément pris comme référence (hydrogène ou silicium, par exemple). On dit aussi *abondance relative.*
ENCYCL On définit l'abondance de tous les éléments chimiques observables, de l'hydrogène à l'uranium, dans des astres ou des régions de l'espace aussi divers que le Soleil et le système solaire, les étoiles, le milieu interstellaire, les galaxies, etc.
Une table d'abondance joue un rôle prééminent : la table des abondances standards, définie à partir de l'étude spectroscopique des couches externes du Soleil et de l'analyse des météorites du type chondrites carbonées. On y observe une prédominance marquée de l'hydrogène et de l'hélium (qui représentent à eux seuls environ 98 % du nombre des atomes). L'abondance des éléments décroît depuis l'hydrogène jusqu'à la masse atomique 40-50 (entre le calcium et le titane) et remonte ensuite pour atteindre un maximum pour le fer. Pour les masses atomiques supérieures, les abondances décroissent à nouveau, mais de façon moins marquée que pour les éléments légers.
Les abondances observées à la surface de la plupart des étoiles de notre galaxie sont très semblables aux abondances standards. Toutefois, les étoiles les plus vieilles, appartenant par exemple aux amas globulaires, sont moins riches en éléments lourds que les étoiles comme le Soleil, qui appartiennent au disque de la Galaxie. Les abondances dans le rayonnement cosmique diffèrent aussi des abondances standards. L'étude de ces différences permet d'expliquer comment évolue la matière au sein des étoiles et des galaxies.

absorption n.f. Diminution que subit l'intensité du rayonnement émis par un astre lors de son trajet entre la source émettrice et l'observateur.
ENCYCL. Le rayonnement que nous recevons des astres est atténué par l'absorption qu'il subit tout au long de son trajet. Cette ab-

sorption est continue et affecte toutes les longueurs d'onde ; elle peut aussi concerner certains domaines très étroits de longueur d'onde et se manifeste alors sous la forme de raies* d'absorption, caractéristiques du milieu absorbant, dans le spectre de l'astre. Par ailleurs, la lumière émise par les étoiles et les galaxies elles-mêmes présente des raies d'absorption qui sont caractéristiques de la composition chimique de ces astres et des conditions physiques qui y régnent.

Académie internationale d'astronautique. Institution non gouvernementale créée en 1960 par la Fédération internationale d'astronautique pour contribuer au développement de l'astronautique.
ENCYCL. Ses membres sont des personnalités qui se sont particulièrement distinguées dans des domaines en rapport avec l'astronautique. Elle publie la revue *Astronautica acta.*
ADRESSE : 6, rue Galilée, 75016 Paris.

Académie nationale de l'air et de l'espace (ANAE). Association française, sans but lucratif, fondée en 1983, reconnue d'utilité publique en 1987, qui a pour but de favoriser le développement d'activités scientifiques, techniques et culturelles de haute qualité dans le domaine de l'aéronautique et de l'espace.
ADRESSE : 1, avenue Camille-Flammarion, 31500 Toulouse.

Acamar. Étoile 0 de l'Éridan. Magnitude apparente visuelle : 2,9. Type spectral : A2. Distance : 160 années de lumière.

accélération n.f. Grandeur caractérisant la variation de vitesse d'un mobile en fonction du temps.

accéléromètre n.m. Capteur qui, dans un système de référence donné, mesure l'accélération du corps auquel il est fixé ou l'une de ses composantes.
ENCYCL. Généralement, on dispose à bord d'un engin spatial trois accéléromètres, qui mesurent l'accélération selon trois directions perpendiculaires entre elles. En cas de navigation inertielle, l'accéléromètre est l'un des organes détecteurs de changements de vitesse ou d'orientation.

accostage n.m. Opération de rapprochement coordonné et progressif de deux engins spatiaux jusqu'à leur contact.

accrétion n.f. (du latin médiéval *accretio,* action d'augmenter). Capture de matière par un astre, par attraction gravitationnelle. *Disque d'accrétion :* région discoïdale située autour d'une naine blanche, d'une étoile à neutrons ou d'un trou noir, dans laquelle tourbillonne la matière tombant sur la naine blanche, l'étoile à neutrons ou le trou noir.
ENCYCL. L'accrétion est l'un des phénomènes fondamentaux à l'œuvre dans l'Univers. C'est vraisemblablement par ce processus que se sont formées les planètes du système solaire et, plus généralement, que doivent se former des planètes dans le disque de matière qui entoure les étoiles naissantes. Dans les étoiles doubles dont les deux composantes sont suffisamment proches l'une de l'autre (binaires serrées), un transfert de matière s'établit de la moins massive vers la plus massive ; lorsque cette dernière est une naine blanche, une étoile à neutrons ou un trou noir, elle s'entoure d'un disque d'accrétion dans lequel tourbillonne la matière arrachée à sa compagne : cette matière s'échauffe et constitue une source de rayonnement X qui signale la présence de l'objet compact responsable du processus. Enfin, c'est l'accrétion de la matière d'une quantité d'étoiles par des trous noirs supermassifs qui serait à l'origine de la fantastique énergie libérée par les quasars* et les noyaux de galaxies* actives.

Achernar (de l'arabe *aknernahr,* le bout du fleuve). Étoile a de l'Éridan. Magnitude apparente visuelle : 0,5. Type spectral : B5. Distance : 140 années de lumière.

Achille. Nom français de l'astéroïde *Achilles*.*

Achilles. Astéroïde 588, découvert par l'Allemand Max Wolf en 1906, premier des Troyens* à avoir été identifié. Diamètre : 116 km.

achondrite ni. Météorite pierreuse dépourvue de chondres, constituée de minéraux similaires à ceux qui sont observés dans les roches lunaires et les basaltes terrestres (pyroxènes et plagioclases).

achromatique adj. Doué d'achromatisme. *Image achromatique* : image dépourvue d'irisations.
ENCYCL. La lunette achromatique, réalisée pour la première fois par Chester Moor Hall en 1733, a été largement diffusée à partir de 1758 par l'opticien J. Dollond.
L'objectif, dans les modèles les plus simples, est constitué d'un ensemble de deux lentilles (doublet achromatique) en verres différents : une lentille convergente en *crown* et une lentille divergente moins puissante mais plus dispersive, en *flint.* L'aberration chromatique peut être corrigée encore plus efficacement à l'aide d'un système de trois lentilles (triplet achromatique).

achromatisme n.m. 1. Qualité d'un système optique dont la distance focale est indépendante de la fréquence des radiations utilisées. Les images obtenues en lumière blanche sont alors dépourvues d'irisations. **2.** Propriété des verres et des lunettes achromatiques.

acquisition n.f. Réception d'un signal identifiable provenant d'un émetteur placé sur un vaisseau spatial et qui permet d'amorcer le fonctionnement correct d'une liaison radioélectrique. L'acquisition est généralement suivie d'une *poursuite.*

Acrux. Étoile a de la Croix du Sud. Magnitude apparente visuelle : 0,8.
ENCYCL. C'est une étoile double, dont les composantes, écartées de 4,3", de type spectral Bl, sont de magnitude apparente 1,4 et 2,1. Distance : 300 années de lumière.

actif, ive adj. *Galaxie active* **galaxie.** *Optique active* -» **optique.** *Région active* **région.** *Soleil actif-** **activité solaire**

activité solaire. Ensemble de phénomènes liés à des perturbations magnétiques du Soleil, d'intensité et de durée variables.
ENCYCL. L'activité solaire se manifeste sur la photosphère* par des taches* et des facules* ; dans la chromosphère*, par des éruptions* et des protubérances* ; dans la couronne*, par des jets*. On la détecte dans tous les domaines de longueur d'onde accessibles à l'observation. Au terme de 25 ans d'observation quotidienne du Soleil, l'astronome amateur allemand Samuel Heinrich Schwabe a mis en évidence, en 1843, une périodicité de 11 ans dans le nombre de taches solaires. Les observations poursuivies ensuite systématiquement par le Suisse R. Wolf* ont confirmé l'existence de ce cycle undécennal de l'activité solaire, marqué notamment par une alternance de maximums et de minimums du nombre de taches à la surface du Soleil. Pendant une période d'activité maximale (on parle de « Soleil actif »), le Soleil se montre couvert en permanence d'un grand nombre de taches, alors qu'en période d'activité minimale (« Soleil calme ») sa surface peut rester vierge pendant des semaines. Le dernier maximum s'est produit en 1989 ; le prochain est attendu vers la fin de l'an 2000, mais on ne peut en prévoir exactement l'époque, car le cycle n'est pas parfaitement régulier et l'on observe des intervalles de 8 à 17 ans entre deux maximums successifs. Il existe aussi un cycle de 22 ans (cycle de Haie), regroupant deux périodes undécennales successives : c'est la période nécessaire pour retrouver dans les groupes de taches solaires la même loi de polarité magnétique. Il semble aussi qu'une activité solaire cyclique à plus longue période (80 ans), établie sur l'amplitude des cycles undécennaux, se superpose aux précédentes. De nombreuses études s'efforcent de mettre en évidence des relations à long terme entre l'activité solaire et les phénomènes géophysiques. On a, notamment, tenté d'établir une corrélation entre l'activité solaire et les oscillations climatiques.

Adams (John Couch), astronome britannique (Laneast, Cornwall, 1819 - Cambridge 1892).
Il partage avec Le Verrier le mérite de la découverte, par le calcul, de la planète Neptune : dès 1841, indépendamment de Le Verrier, il envisagea l'existence d'une planète

inconnue pour expliquer les irrégularités du mouvement d'Uranus ; au terme de quatre ans d'efforts, il parvint, en 1845, à calculer les éléments de l'orbite de cette planète, mais Airy*, directeur de l'observatoire de Greenwich, refusa de prendre en considération son travail

Adams (Walter Sydney), astrophysicien américain (Antakya, Turquie, 1876 - Pasadena 1956).
Il s'est illustré surtout par des travaux de spectrographie solaire, planétaire et stellaire. En étudiant les spectres des taches solaires, il démontra que ces régions sont plus froides et plus denses que la photosphère environnante. Il fournit aussi une description détaillée de la rotation différentielle du Soleil. En découvrant une corrélation entre la luminosité intrinsèque des étoiles de même température et l'intensité de certaines raies de leur spectre (1914), il a mis au point un nouveau procédé de détermination de la distance des étoiles, fondé sur la comparaison de leur luminosité intrinsèque (déduite de l'intensité de leurs raies spectrales) et de leur éclat apparent.

adaptatif, ive adj. *Optique adaptative* **-* optique**

Adeos (acronyme *de Advanced Earth Observation Satellite,* satellite avancé d'observation de la Terre). Programme japonais de satellites d'observation de la Terre (océans, sols et atmosphère).
ENCYCL. Lancé le 17 août 1996, Adeos 1 est tombé en panne le 30 juin 1997.
Le lancement d'Adeos 2 est prévu en 2000.
→ **Polder**

Adhara. Étoile *e* du Grand Chien. Magnitude apparente visuelle : 1,5. Type spectral : B2. Distance : 400 années de lumière. En 1992, le satellite Extreme Ultraviolet Explorer a découvert que cette étoile est, pour les observateurs terrestres, la source de rayonnement ultraviolet extrême la plus intense du ciel en dehors du Soleil. Selon certains chercheurs, elle jouerait un rôle prépondérant dans l'ionisation de l'hydrogène interstellaire situé autour des étoiles les plus proches du système solaire.

Adonis. Astéroïde 2101, du type Apollo, découvert en 1936 par l'astronome belge Delporte, perdu, puis retrouvé en 1977. Distances extrêmes au Soleil : 66 millions de km, au périhélie ; 494 millions de km, à l'aphélie. Période de révolution sidérale : 2,56 ans. Il peut s'approcher à 2 millions de km seulement de la Terre, comme le 7 février 1936. Son diamètre est estimé à 800 m. Il pourrait être d'origine cométaire.

Adrastée. Satellite de Jupiter (n° XV) découvert en 1979 grâce aux photographies prises par les sondes Voyager. Demi-grand axe de son orbite : 129 000 km. Période de révolution sidérale : 0,298 j. Dimensions : 26 x 20 x 16 km. On estime que son action gravitationnelle et celle du satellite Thébé* contribuent à expliquer la répartition de la matière au sein de l'anneau principal de Jupiter.

Ae (étoile). Étoile de type spectral A dont le spectre présente des raies d'émission de l'hydrogène superposées aux raies d'absorption. Le phénomène d'émission pourrait résulter des interactions entre les deux composantes d'un système binaire serré.

Aeritalia **Alenia Spazio**

aérocapture n.f. Mise en orbite d'un objet spatial autour d'un corps céleste obtenue par freinage* atmosphérique.

aérolithe n.m. Synonyme ancien de météorite pierreuse.

aéronome n. Spécialiste d'aéronomie.

aéronomie n.f. Étude des propriétés physiques et chimiques de la moyenne et de la haute atmosphère de la Terre ou, plus généralement, des planètes. Les techniques spatiales, en autorisant la mesure directe des paramètres atmosphériques, ont, depuis les années 60, fait grandement progresser l'aéronomie de la Terre, mais aussi de Vénus, Mars, Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune et de certains gros satellites naturels comme Titan.

aérospatial, e adj. Qui a trait aux domaines aéronautique et spatial, ou qui est capable d'évoluer tant dans l'atmosphère terrestre que dans l'espace extra-atmosphérique.

Aérospatiale. Société française de construction aéronautique et spatiale fondée en 1970, sous le nom de Société nationale industrielle aérospatiale (SNIAS), par la fusion des sociétés Sud-Aviation (fondée en 1957), Nord-Aviation (fondée en 1958) et Sereb (fondée en 1959) ; elle a pris la dénomination d'Aérospatiale en 1984.
ENCYCL. Depuis 1974, elle est architecte industriel et principal étagiste des lanceurs Ariane*. Sous maîtrise d'œuvre du CNES, elle développe la version plus puissante Ariane 5. Elle a développé aussi la capsule automatique de démonstration ARD*. Par ailleurs, elle a contribué à la réalisation de plus de 100 satellites, lancés depuis 1965, assurant notamment la maîtrise d'œuvre des programmes Arabsat, Eutelsat 2, Türksat, Meteosat, Hot Bird 1, Nahuel, ISO et Huygens (sonde interplanétaire). Elle participe également aux satellites d'observation de la Terre SPOT et développe l'ensemble de prise de vues des satellites militaires d'observation Hélios. **Aérospatiale Matra**

Aérospatiale Matra. Groupe industriel français privé de l'aéronautique, de l'espace et de la défense, issu de la fusion, en 1999, des activités de Matra* Hautes Technologies et d'Aérospatiale* (qui a reçu en outre fin 1998 les 45,76 % d'actions de Dassault-Aviation détenues jusque-là par l'État).
ENCYCL. Avec un chiffre d'affaires de 80,6 milliards de francs (dont 12 % pour l'espace) en 1998, un portefeuille de commandes de 232 milliards de francs et 56 000 employés, ce groupe occupe le 2e rang européen et le 5e rang mondial dans son secteur. Ses activités s'exercent pour 65 % dans le domaine civil et 35 % dans le domaine militaire.

aérostat n.m. Appareil dont la sustentation dans l'atmosphère d'un astre résulte principalement d'une poussée obtenue par l'emploi d'un gaz moins dense que celui de l'atmosphère. -» **ballon**

AFA. Sigle de Association Française d'Astronomie.

AFOEV. Sigle de Association Française d'Observateurs d'Étoiles Variables.

AG. Sigle de *Astronomische Gesellschaft.*

âge de la lune. Nombre de jours écoulés depuis la dernière nouvelle lune.

âge de l'Univers. Durée écoulée depuis le Big* Bang.

Agena. Étage supérieur utilisé dans les années 60 sur certains lanceurs américains, notamment Atlas. Il a servi de véhicule-cible pour les premiers essais de rendez-vous et d'amarrage dans l'espace du programme Gemini*.

Agena. Étoile (5 du Centaure. Magnitude apparente visuelle : 0,6. Type spectral : B1. Distance : 500 années de lumière. On l'appelle aussi *Hadar.*

Agence spatiale européenne (ASE ou ESA). Organisation européenne qui a pour mission d'assurer et de développer, à des fins exclusivement pacifiques, la coopération entre États européens dans les domaines de la recherche et de la technologie spatiales et de leurs application à des fins scientifiques et pour des systèmes spatiaux opérationnels d'applications.
ENCYCL. En 1999, elle comprend 14 États membres : l'Allemagne, l'Autriche, la Belgique, le Danemark, l'Espagne, la Finlande, la France, l'Irlande, l'Italie, la Norvège, les Pays-Bas, le Royaume-Uni, la Suède et la Suisse. Le Canada participe à certains programmes de l'Agence, aux termes d'un accord de coopération conclu avec elle. Le 20 décembre 1972, lors d'une conférence spatiale européenne, furent prises quatre décisions essentielles :

1. Une agence spatiale européenne naîtrait de la fusion de l'ELDO* avec l'ESRO* ;
2. Cette agence collaborerait au programme

de navette spatiale de la NASA en construisant le laboratoire Spacelab ;
3. Un lanceur lourd, appelé ultérieurement Ariane, serait réalisé pour placer des engins d'applications sur orbite géostationnaire ;
4. Un programme de satellite de télécommunications maritimes Marots serait entrepris, en sus des programmes d'applications et des programmes scientifiques déjà conduits par l'ESRO.
Signée à Paris le 30 mai 1975, la convention créant l'Agence spatiale européenne est entrée officiellement en vigueur le 30 octobre 1980. L'organisation, dont le siège est à Paris, a à sa tête un directeur général, assisté d'un directoire responsable devant un conseil assisté d'une structure délibérante représentant les pays membres. Elle dispose de trois grands centres d'activités, hérités de l'ESRO : un centre de recherche et de technologie spatiales, à Noordwijk (Pays-Bas), l'ESTEC *(European Space Research and Technology Centre)* ; un centre d'opérations spatiales chargé du contrôle des satellites, situé à Darmstadt (Allemagne), l'ESOC *(European Space Opérations Centre)* ; un centre de documentation, situé à Frascati (Italie), l'ESRIN (*European Space Research Institute).* Elle a établi à Cologne un centre de formation d'astronautes, l'EAC (*European Astronauts Centre).* En outre, l'ESÀ utilise la base suédoise de Kiruna pour le lancement de fusées-sondes et le centre de lancement français de Guyane, le CSG (Centre spatial guyanais), équipé pour le tir des lanceurs Ariane.

AGK (sigle de *Astronomische Gesellschaft Katalog).* Nom de plusieurs catalogues d'étoiles établis par *VAstronomische Gesellschaft.*
ENCYCL. AGK 1 est un catalogue de 20 volumes, publié entre 1890 et 1924, qui fournit, avec une précision moyenne de 0,15", les positions de 188 048 étoiles de l'hémisphère boréal. AGK 2, issu d'observations photographiques réalisées à partir de 1921 et publié de 1951 à 1958, fournit, avec une bien meilleure précision, les positions de près de 183 000 étoiles jusqu'à la magnitude 11, situées entre le pôle céleste boréal et la déclinaison - 2°. AGK 3, issu d'une nouvelle série d'observations, inclut des mesures de mouvements propres.

Ahnighito (météorite). Météorite ferreuse découverte par R. Peary au Groenland en 1894 et conservée au planétarium Hayden à New York. D'une masse de 31 tonnes, c'est la plus grosse météorite conservée dans un musée, et, parmi celles que l'on connaît, elle n'est dépassée que par la météorite de Hoba*.

AIAA. Sigle de *American* Institute ofAeronautics and Astronautics.*

Aigle (en latin *Aquila, -ae).* Constellation équatoriale, traversée par la Voie lactée.
ENCYCL. L'étoile la plus brillante de la constellation, Altaïr*, figure la tête de l'aigle ; elle est encadrée par deux étoiles de moindre éclat, à peu près alignées avec elle, qui matérialisent les ailes déployées de l'oiseau. Une nova* remarquable, visible à l'œil nu, est apparue dans cette constellation en 1918. Sa magnitude visuelle apparente atteignit -1,1 au maximum d'éclat (pour une magnitude de 10,8 au minimum). La constellation abrite aussi une source X découverte en 1992 par le satellite Granat, GRS 1915 + 105, qui s'est fait remarquer en 1994 par de puissantes émissions d'ondes radio associées à l'expulsion, à des vitesses apparemment supérieures à celle de la lumière, de deux jets de matière, dans des directions opposées. Il s'agirait d'un système binaire, situé à 40 000 années de lumière, constitué d'une grosse étoile associée à une étoile à neutrons ou à un trou noir. Cet ensemble offre les propriétés d'un microquasar. C'est la première fois que l'on observe un mouvement apparent superluminique à l'intérieur de la Galaxie.

Aigle (nébuleuse de l'). Nébuleuse à émission M16 ou NGC 6611, entourant un brillant amas de jeunes étoiles, dans la constellation du Serpent.
ENCYCL. Elle s'étend sur 30' de diamètre apparent et sa distance est estimée à 7 000 années de lumière. Elle présente une teinte rouge caractéristique, due à l'hydrogène qu'elle renferme, ionisé par le rayonnement des jeunes étoiles qu'elle entoure.

Airbus « Zéro g ». Prototype (n° 3) de l'avion Airbus A-300 qui a remplacé en 1995

la Caravelle exploitée par le CNES (à travers sa filiale Novespace) pour la réalisation de vols* paraboliques.
ENCYCL. La partie centrale de la cabine est complètement vide, avec des emplacements prévus pour l'installation de différents appareils, et elle est capitonnée de mousse pour éviter que les personnes appelées à y travailler ne se blessent. Une campagne type comprend 3 vols en 3 jours successifs avec 30 à 40 paraboles par vol, chaque parabole offrant de 20 à 25 s de micropesanteur (10^{-2} g). L'Airbus A 300 « Zéro g » est le plus gros avion du monde utilisé pour les vols paraboliques. Il offre un volume utile de 300 m^3 ce qui permet d'emporter 15 expériences et 50 passagers. Les vols ont lieu à partir de l'aéroport de Bordeaux-Mérignac. L'A 300 « Zéro g » a affectué sa 1000e parabole le 28 octobre 1998.

aire de lancement. Zone où sont réunis les équipements qui autorisent la préparation finale et le lancement d'un véhicule spatial.

aires (loi des). Loi du mouvement d'un point matériel se déplaçant dans un champ de forces central, et selon laquelle ce mouvement s'effectue dans un plan contenant le centre de forces de façon que le rayon vecteur, joignant le point matériel au centre de forces, balaie des aires égales en des temps égaux. Cette loi est la conséquence de la conservation du moment angulaire du point en mouvement dans le champ de forces central. C'est la deuxième loi de Kepler* (1609) du mouvement des planètes autour du Soleil.

Aire-sur-l'Adour. Commune des Landes où le CNES a créé, en 1963, le premier centre français de lâcher de ballons stratosphériques.
ENCYCL. Les campagnes s'y déroulent chaque année de mars à fin mai et de septembre à novembre, avec une moyenne annuelle d'environ 40 lâchers. Durant l'été, parce que les vents en altitude se sont inversés (ils soufflent alors de l'est vers l'ouest), le CNES utilise le centre de lâcher de Tallard, près de Gap (Hautes-Alpes), d'où partent chaque année une dizaine de gros ballons.

Airy (sir George Biddell), astronome britannique (Alnwick, Northumberland, *1801* - Londres 1892).
Astronome Royal, directeur de l'observatoire de Greenwich de 1835 à 1881, il sut placer cet observatoire au premier plan des établissements scientifiques internationaux et fit adopter dans toute l'Angleterre, en 1880, le temps solaire moyen de Greenwich (GMT).
Cependant, manquant de confiance dans ses jeunes subordonnés, il négligea pendant longtemps de prêter attention à un mémoire concernant les perturbations d'Uranus que lui avait soumis J. C. Adams*, ce qui valut à Le Verrier d'acquérir toute la gloire de la découvertre de Neptune.

Airy (tache d') [de G.B. Airy, qui en donna la théorie en 1834], Petite tache lumineuse circulaire, d'éclat maximal en son centre, entourée d'anneaux concentriques alternativement sombres et brillants (ces derniers d'éclat rapidement décroissant), due à la diffraction de la lumière par une ouverture circulaire, et qui constitue l'image d'un point lumineux (par exemple une étoile) donnée par un objectif.
ENCYCL. L'observation de cette figure de diffraction renseigne sur la qualité optique de l'objectif (et de l'atmosphère située au-dessus de l'observateur). L'angle p représente la dimension des plus fins détails que permet d'observer l'instrument, ou encore l'écartement angulaire minimal de deux points qu'il permet de voir séparés l'un de l'autre : c'est la *limite de résolution* théorique de l'instrument.
Plus le diamètre de l'objectif est grand, plus la limite de résolution est petite et meilleur est le pouvoir* séparateur de l'instrument.

Aitken (Robert Grant), astronome américain (Jackson, Californie, 1864 - Berkeley 1951).
Il reste surtout célèbre pour ses observations d'étoiles doubles et pour avoir publié, en 1932, un catalogue de quelque 17 000 étoiles de ce type, le *New General Catalogue of Double Stars* (souvent désigné sous le nom de *Aitken Double Stars Catalogue [ADS]),* qui constitue toujours un ouvrage de référence.

De 1930 à 1935, il fut directeur de l'observatoire Lick.

AJ. Abréviation de *AstronomicalJournal.*

Akrab (nom arabe signifiant *scorpion).* Étoile (3 du Scorpion. Magnitude apparente visuelle : 2,6. Type spectral : Bl. Distance : 500 années de lumière.

al. Symbole de *l'année de lumière.*

Alamak (de l'arabe *al-naq,* le lynx du désert). Étoile y d'Andromède.
ENCYCL. Une lunette d'amateur suffit pour la dédoubler en deux composantes, distantes de 10", qui offrent un contraste de couleur particulièrement remarquable : la composante principale, de magnitude apparente visuelle 2,3, apparaît orangée et la composante secondaire, de magnitude 5,1, bleue. Ce couple a été découvert en 1777 par l'Allemand C. Mayer. Il s'agit, en fait, d'un système quadruple. Celui-ci est situé à 400 années de lumière et se rapproche du Soleil à raison de 12 km/s.

Albategnius ou **Albatenius -» Battani (al-)**

albédo n.m. (du latin *albedo,* blancheur). Grandeur comprise entre 0 et 1, caractérisant la proportion d'énergie lumineuse réfléchie ou diffusée par un corps éclairé.
ENCYCL. La notion d'albédo a été introduite par l'astronome américain W.C. Bond au xixe s. L'albédo dépend de la longueur d'onde et du corps considérés, Une substance dont l'albédo vaudrait 1 serait un diffuseur parfait, celle dont l'albédo vaudrait 0 serait un absorbant parfait. Ainsi, dans le domaine de la lumière visible, la neige fraîche, qui renvoie presque tout le rayonnement qu'elle reçoit, a un fort albédo, voisin de 0,9, tandis que le carbone, qui absorbe pratiquement tout le rayonnement, a un albédo très faible, voisin de 0,05. L'albédo d'une planète est une source précieuse d'informations sur la nature du sol et de l'atmosphère visible de cette planète.

Albireo (nom d'origine arabe signifiant *l'oiseau).* Étoile (3 du Cygne.
ENCYCL. C'est une très belle étoile double* visuelle, dont la composante principale est une étoile jaune-orangé de type spectral K3 et de magnitude apparente 3,2 et la composante secondaire, une étoile bleue de type spectral B9 et de magnitude apparente 5,4. L'écart entre ces deux composantes est de 35". Distance : 400 années de lumière.

Alcântara. Base spatiale du Brésil située sur la côte atlantique, près de la ville du même nom.
ENCYCL. Une première tentative de lancement de satellite, avec une fusée VLS, a échoué le 2 novembre 1997. Coordonnées géographiques : 2,3° S., 44,3° O.

Alcatel Space. Division du groupe industriel français Alcatel qui réunit toutes les activités spatiales de ce groupe ainsi que celles de Thomson-CSF, d'Aérospatiale et de Sextant.
ENCYCL. Avec un effectif de 5 600 personnes et un chiffre d'affaires de 10,4 milliards de francs en 1998, Alcatel Space est le n° 3 mondial de l'industrie des sateËites et des systèmes spatiaux. Alcatel Space conçoit et fabrique tous les types de satellites : communications, navigation, observation de la Terre, sciences et météorologie. C'est le constructeur des plates-formes Spacebus pour les satellites géostationnaires et Proteus pour les satellites en orbite terrestre basse. Alcatel Space assure aussi la définition, l'exploitation et la maintenance d'infrastructures au sol dans le domaine des télécommunications, de la navigation par satellite et de l'observation de la Terre.

Alcor (de l'arabe *al-ejur,* le petit cavalier). Étoile 80 de la Grande Ourse. De type spectral A5 et de magnitude apparente 4,2, elle forme avec Mizar* un couple optique célèbre, dans la queue de la Grande Ourse. Les deux étoiles sont séparées l'une de l'autre par une distance angulaire de 11' 50" dans le ciel, ce qui permet de les distinguer aisément à l'œil nu avec une bonne vue. Dans l'espace, leur distance mutuelle réelle est de 10 années de lumière.

Alcyone. Étoile r| du Taureau. Magnitude apparente visuelle : 2,9. Type spectral : B5.

Distance : 400 années de lumière. C'est l'étoile la plus brillante de l'amas des Pléiades*.

Aldébaran (de l'arabe *al-dabaran,* la suivante, parce qu'elle suit les Pléiades). Étoile *a* du Taureau. Magnitude apparente visuelle : 0,9. Type spectral : K5. Distance : 65 années de lumière. Rayon : 40 fois celui du Soleil. C'est une géante rouge.

Alderamin (de l'arabe *al-deramin,* le bras droit, par allusion à sa position dans la constellation). Étoile a de Céphée. Magnitude apparente visuelle : 2,5. Type spectral : A5. Distance : 49 années de lumière.

Aldrin (Edwin Eugene, puis Buzz), astronaute et officier américain (Montclair, New Jersey, 1930).
En 1963, il est admis dans le corps des astronautes de la NASA. Copilote de la capsule Gemini 12 en 1966, il effectue 59 révolutions autour de la Terre et plusieurs sorties dans l'espace. En 1969, lors de la mission Apollo 11, il pilote le module lunaire et est ainsi le second homme, après Neil Armstrong, à poser le pied sur la Lune. En 1971, il quitte la NASA et réintègre l'armée de l'air avec le grade de colonel, mais il se retire du service actif l'année suivante.

Alenia Spazio. Principale firme de construction spatiale italienne.
ENCYCL. Cette firme, qui emploie 2 300 personnes, est issue du rapprochement, en 1990, de la division spatiale d'Aeritalia, de Selenia Spazio et d'une douzaine de filiales. Son siège est à Rome et elle possède des établissements à Milan, Turin, Florence, Naples, Tarente, L'Aquila et Catane. Elle est notamment maître d'œuvre des satellites européens DRS* et Artemis* et fabrique l'élément orbital Columbus (COF*), en collaboration avec Daimler-Benz Aerospace, ainsi que les satellites Globalstar*.

alerte avancée. Détection la plus rapide possible du lancement de missiles balistiques adverses.
ENCYCL. Les satellites d'alerte avancée constituent des spécimens de satellites militaires. Ils sont équipés de capteurs infrarouges ultrasensibles pour détecter la chaleur dégagée par le jet propulsif des missiles. Aux Etats-Unis, la fonction d'alerte avancée a d'abord été remplie, dans les années 60, par des satellites de type Midas puis ceux-ci ont été remplacés, à partir de 1971, par les IMEWS *(Integrated Multipurpose Early Warning Satellite),* placés en orbite géostationnaire. Accessoirement, ceux-ci peuvent aussi détecter les explosions nucléaires. Un satellite stationné au-dessus de Panamá surveille l'Atiantique et le Pacifique est, tandis qu'un second, posté au-dessus de l'océan Indien, surveille l'autre moitié du globe. Dans le cadre de leur DSP* (*Defense Support Program),* les Américains utilisent aussi des satellites géostationnaires conjointement avec un réseau de stations de surveillance au sol BMEWS (*Ballistic Missile Early Warning System).* Les missiles balistiques intercontinentaux sont ainsi repérés trente minutes avant d'atteindre le territoire américain, ce qui double le délai de quinze minutes offert par les radars terrestres les plus performants. L'ex-URSS a, pour sa part, utilisé à partir de 1972 (Cosmos 520) des satellites placés sur des orbites elliptiques hautes (entre 600 et 40 000 km d'altitude), qu'ils décrivaient en 12 h et dont l'apogée leur valait de survoler à chaque révolution le territoire américain durant plusieurs heures.

Alfraganus Farrhani (al-)

Alfvén (Hannes). physicien suédois (Norrkôpping 1908).
Ses principales recherches ont porté sur les gaz ionisés à hautes températures et les phénomènes de magnéto-hydrodynamique.
Il est particulièrement connu pour ses théories relatives au déplacement des particules dans la magnétosphère terrestre ainsi que pour sa découverte des ondes - qui portent son nom - naissant et se propageant dans les plasmas.
(Prix Nobel de physique 1970.)

Algénib (de l'arabe *jenah al-faras*> l'aile du cheval, par allusion à sa position dans la constellation). Étoile y de Pégase, l'un des sommets du *Carré de Pégase.* Magnitude apparente visuelle : 2,9 (variable). Type spectral B2. Distance : 300 années de lumière.

Algol (de l'arabe *[ra's] at-ghul,* [la tête] de l'ogre, par allusion à sa position dans la constellation de Persée : elle figure la tête du monstre tué par Persée). Étoile (3 de Persée. Magnitude apparente visuelle variable de 2,2 à 3,5. Distance : 93 années de lumière.
ENCYCL. C'est le prototype d'une classe d'étoiles variables*, dites *binaires à éclipses.* Elle comprend, en fait, deux composantes de dimension et d'éclat différents (une étoile bleue brillante de type spectral B8 et une étoile orangée de type spectral K2, moins lumineuse et moins massive mais plus volumineuse), distantes l'une de l'autre de 10,5 millions de kilomètres, qui tournent autour de leur barycentre. Les occultations mutuelles de ces deux étoiles provoquent une variation de leur luminosité globale suivant une période de 2,867 39 j. La principale diminution d'éclat se produit quand la composante de type K s'interpose devant celle de type B ; une diminution beaucoup plus faible et imperceptible à l'œil nu survient quand la composante de type B passe devant celle de type K.

Déjà remarquée par les Hébreux, qui l'appelaient « la tête de Satan », Algol est citée par Ptolémée dans l'*Almageste,* mais sa variation d'éclat n'a été mentionnée pour la première fois qu'en 1669 par l'Italien G. Montanari, à Bologne.

Cependant, c'est l'astronome amateur britannique J. Goodricke qui. le premier, en 1782, nota le caractère périodique de cette variation et suggéra qu'elle pouvait être due à des passages successifs d'un astre sombre devant l'étoile. Cette hypothèse reçut une brillante confirmation un siècle plus tard, en 1889, lorsque l'Allemand H.K. Vogel mit en évidence un déplacement alternatif des raies du spectre d'Algol, qui prouvait l'existence d'un compagnon invisible tournant autour du barycentre du système. En 1906, le Russe Belopolsky a découvert, grâce à des variations du spectre, la présence d'une troisième composante, tournant autour des deux autres en 1,862 an. On a pu établir qu'il s'agit d'une étoile de type spectral Fl, gravitant à une distance moyenne de 400 millions de kilomètres des deux composantes principales. L'étude du spectre d'Algol a révélé aussi un transfert de matière entre les deux composantes principales (de la moins massive vers la plus massive). Enfin, on a découvert en 1972 qu'Algol est une radiosource et l'on présume que son rayonnement radioélectrique provient d'une couronne de gaz chauds enveloppant la composante la plus volumineuse.

Algonquin (observatoire). Observatoire radioastronomique canadien, dans l'Ontario. Son principal instrument est un radiotélescope à antenne parabolique entièrement orientable de 46 m de diamètre, mis en service en 1967.

Alioth (de l'arabe *al-'ayyuq,* la queue). Étoile e de la Grande Ourse. Magnitude apparente visuelle : 1,8. Type spectral : A0. Distance : 82 années de lumière.

Alkaïd (de l'arabe *al-qa'id,* le conducteur, par allusion à sa position et à une représentation ancienne de la constellation, regardée comme un cercueil précédé de pleureuses). Étoile T] de la Grande Ourse. Magnitude apparente visuelle : 1,9. Type spectral : B3. Distance : 100 années de lumière. On l'appelle aussi *Benetnasch.*

Allende (météorite). Météorite du type chondrite* carbonée, tombée le 8 février 1969 près du village de Pueblito de Allende, dans l'État de Chihuahua, au Mexique.
ENCYCL. Elle éclata peu avant d'atteindre le sol, mais on a pu en récolter des centaines de fragments - le plus gros pesant 110 kg -, éparpillés sur quelque 150 km² et représentant une masse totale de plus de 2 t. La découverte, dans certaines inclusions de cette météorite, d'une douzaine d'éléments chimiques (oxygène, magnésium, calcium, etc.) présentant des anomalies isotopiques, c'est-à-dire des différences de composition isotopique par rapport à celle qu'ils ont sur la Terre, non explicables par des processus agissant à l'intérieur du système solaire, a fourni des contraintes nouvelles aux modèles de formation du système solaire. Il est désormais généralement admis que les éléments caractérisés par des anomalies isotopiques auraient été créés par nucléosynthèse*, puis injectés dans la nébuleuse solaire lors de l'explosion de supernovae* voisines.

Almageste (ar. *al-midjisti;* du gr. *megistos [biblos],* très grand [livre]). Traité composé par Claude Ptolémée* sous le règne d'Antonin le Pieux et résumant les connaissances astronomiques et mathématiques de l'Antiquité. Cet ouvrage contient, outre l'exposé d'un système du monde géocentrique, un traité complet de trigonométrie rectiligne et sphérique, un catalogue de 1 022 étoiles, des recherches sur les distances du Soleil et de la Lune, une méthode pour calculer les éclipses et la description des instruments d'astronomie usités à cette époque.

Almaz (en russe, *diamant).* Satellites russes de très grandes dimensions, comparables aux stations Saliout, pesant environ 20 t et servant à l'observation de la Terre par imagerie radar. Le premier exemplaire a été lancé en juillet 1987, sous le nom de Cosmos 1870. Almaz 1 a été mis en orbite en mars 1991.

almicantarat n.m. (de l'arabe *almuquantara,* l'astrolabe). Cercle de la sphère céleste, parallèle à l'horizon. On dit aussi *cercle* ou *parallèle de hauteur.*

Alnaïr (nom arabe signifiant *la brillante).* Étoile a de la Grue. Magnitude apparente visuelle : 1,7. Type spectral : B5. Distance : 100 années de lumière.

Alnilam. Étoile e d'Orion. Magnitude apparente visuelle : 1,7. Type spectral : B0. Distance : 2 000 années de lumière.

Alpes (vallée des). Grande vallée lunaire, qui coupe la chaîne des Alpes ; au nord-est de la mer des Pluies. Longueur : 130 km. Largeur : 7 à 18 km. Nom international : *Vallis Alpes.*

Alpes. Chaîne de montagnes, sur la Lune, entre la mer du Froid et la mer des Pluies. Nom international : *Montes Alpes.*

Alpha du Centaure **a Centauri**

Alpha Regio. Haut plateau de l'hémisphère Sud de Vénus, centré par 25° S. et 5° F C'est l'une des régions volcaniques de Vénus. Elle est traversée par de nombreuses fractures parallèles orientées N.E.-S.O. Dans sa partie est, la sonde américaine Magellan a mis en évidence, à l'aide de son radar imageur, un groupe de sept dômes volcaniques de 25 km de diamètre et de 750 m d'altitude chacun, qui s'étend sur plus de 100 km.

Alphard (de l'arabe *al-fard,* la solitaire, par allusion à l'absence d'étoiles brillantes dans son voisinage). Étoile a de l'Hydre femelle. Magnitude apparente visuelle : 2,0. Type spectral : K2. Distance : 180 années de lumière. On l'appelle aussi *Minchir.*

Alpheratz (nom d'origine arabe). Étoile a d'Andromède **Sirrah**

Alphonse. Cirque lunaire, dans la région centrale de l'hémisphère de la Lune visible de la Terre. Coordonnées : 13,5° S., 3° O. Diamètre : 118 km. Nom international : *Alphonsus.*

ENCYCL. En *1958* et 1959, l'astronome soviétique N.A. Kozyrev a observé au-dessus du piton central du cratère une nuée rougeâtre dont les caractéristiques spectrales semblent pouvoir être expliquées par la présence de gaz raréfiés contenant du carbone, issus des roches superficielles et ionisés sous l'effet du rayonnement solaire ultraviolet. -* **phénomène lunaire transitoire**

Alphonsines (tables). Tables astronomiques dressées en 1252, sur l'ordre du roi de Castille Alphonse X le Sage (1221-1284), par des astronomes chrétiens, juifs et surtout arabes, pour remplacer celles de Ptolémée.

Altaïr (de l'arabe *al-nars al-taïr,* l'aigle volant). Étoile a de l'Aigle. Magnitude apparente visuelle : 0,8. Type spectral : A7. Distance : 16,8 années de lumière.

ENCYCL. Son diamètre représente 1,6 fois environ celui du Soleil, mais sa surface est nettement plus chaude (8 100 K) et elle est environ 11 fois plus lumineuse. Avec Deneb et Véga, elle forme un triangle d'étoiles brillantes facilement repérable en été aux latitudes de la France (les trois « belles de l'été »).

Altaïr (du nom de l'étoile la plus brillante de la constellation de l'Aigle, qui se trouve

au zénith du cosmodrome de Baïkonour, le soir, en été). Quatrième mission spatiale habitée réalisée en collaboration entre la France et la Russie.
ENCYCL. Parti de Baïkonour le 1er juillet 1993, en compagnie de deux cosmonautes russes, J.-P. Haigneré* a rejoint le surlendemain la station orbitale Mir. Il était chargé de mettre en oeuvre une dizaine d'expériences portant sur la physiologie humaine, la biologie, l'étude des fluides et des matériaux, et la technologie. Son retour au sol a eu lieu le 22 juillet.

altazimutal, e adj. Synonyme de azimutal, e. Ce terme tend à se substituer à celui d'*azimutal,* mais c'est un anglicisme formé à partir des mots anglais *altitude* (hauteur) et *azimuth* (azimut).

altimétrie spatiale. Technique de mesure d'altitude au moyen de satellites artificiels.
ENCYCL. La surface moyenne des océans terrestres peut être cartographiée avec une grande précision (inférieure à 10 cm) par mesure au temps de propagation des impulsions émises par un radar embarqué et réfléchies par la surface de l'eau. D'autres paramètres de surface comme l'intensité du vent ou la forme des vagues sont aussi mesurables. Inaugurée en 1973 (sur Skylab), cette technique trouve aujourd'hui ses principales applications en géodésie, en géophysique et en océanographie. **Seasat, Topex-Poséidon**

aluminiage n.m. Synonyme de aluminisation.

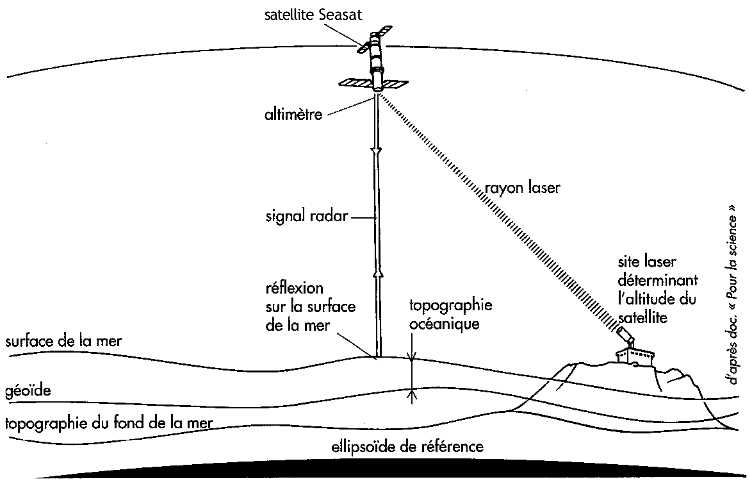
aluminisation n.f. Opération par laquelle s'effectue le dépôt d'une fine couche réflectrice d'aluminium sur la surface optique d'un miroir de télescope.
ENCYCL. Le miroir est placé dans une enceinte où l'on fait le vide ; au-dessus, on vaporise à l'aide d'un courant électrique quelques fils d'aluminium ; la vapeur formée se condense à la surface du miroir sous l'aspect d'une couche brillante, de quelques micromètres d'épaisseur.

aluminure n.f. Synonyme de aluminisation.

alunir v.i. Se poser sur la Lune. Verbe proscrit par l'Académie française et l'Académie des sciences.

Amalthée. Satellite de Jupiter (n° V), découvert en 1892 par l'Américain E. Bamard. C'est un astéroïde sombre et rougeâtre, de forme irrégulière. Demi-grand axe de son orbite : 181 300 km. Période de révolution

Principe de l'**altimétrie** spatiale



sidérale : 0,498 j. Dimensions : 262 x 146 x 134 km.

amarrage n.m. Jonction d'engins spatiaux dans l'espace. Pour cette acception, l'emploi *d'arrimage* est incorrect.

amas n.m. Groupe de galaxies (amas de galaxies) ou d'étoiles d'une même galaxie (amas stellaire) liées par leur attraction gravitationnelle mutuelle. L'observation révèle l'existence de très nombreux amas d'étoiles ou de galaxies.

AMAS STELLAIRES. L'étude de notre galaxie et des galaxies voisines a révélé l'existence de deux types d'amas stellaires : dans le halo* galactique, des amas globulaires, qui rassemblent jusqu'à plusieurs centaines de milliers d'étoiles, toutes très âgées, en formant des systèmes sphériques très concentrés de 60 à 300 années de lumière de diamètre ; et, au voisinage du disque galactique, des amas galactiques (ou amas ouverts), groupements assez faiblement concentrés de quelques centaines d'étoiles jeunes. Les étoiles d'un même amas ont une origine commune. Les étoiles très jeunes forment souvent des groupes diffus appelés *associations**. Les propriétés globales des amas globulaires varient selon les galaxies.

Parmi les amas globulaires les plus remarquables du halo de notre galaxie figurent M 3 des Chiens* de Chasse, M 13 d'Hercule*, œ du Centaure* et 47 Toucan* ; les amas ouverts les plus spectaculaires sont les Hyades* et les Pléiades*.

AMAS DE GALAXIES. Sur des distances se comptant en millions d'années de lumière, la distribution des galaxies n'apparaît pas uniforme, mais on observe que celles-ci tendent à former de vastes concentrations de matière. On connaît à présent plusieurs dizaines de milliers d'amas de galaxies ; ceux-ci revêtent des formes très variées et peuvent contenir jusqu'à plusieurs milliers de membres. On les classe en deux types principaux : les amas riches, ou réguliers, à concentration centrale et symétrie sphérique, où prédominent les galaxies elliptiques ou lenticulaires, et les amas pauvres, ou irréguliers, sans concentration centrale ni symétrie sphérique, avec des galaxies de tous types en proportions variables. Les amas de galaxies eux-mêmes se rassemblent souvent en formant d'immenses superamas* qui s'étendent parfois sur 100 millions d'années de lumière ou plus. Les amas de galaxies semblent s'être formés assez tôt dans l'histoire de l'Univers, quelques milliards d'années au maximum après le Big* Bang. Les amas proches seraient les plus anciens et auraient atteint un état d'équilibre stable, tandis que les plus lointains seraient des structures « jeunes », encore en évolution. Initialement irréguliers et peuplés en majorité de galaxies spirales, les amas se concentreraient progressivement et se peupleraient dans leur région centrale de galaxies elliptiques ou lenticulaires (phénomène de ségrégation morphologique).

amateur n.m. et adj. Personne qui effectue des observations astronomiques pour son simple plaisir.

ENCYCL. Il y a dans le monde des dizaines de milliers d'astronomes amateurs, souvent regroupés en associations. Avant l'ère spatiale, de nombreuses découvertes concernant la Lune, le Soleil ou les planètes ont été l'œuvre d'amateurs. Dans certains domaines, comme la recherche des comètes et l'étude des étoiles variables, la contribution des amateurs reste très importante. D'une façon générale, les amateurs, par leur nombre et leur répartition sur la Terre, contribuent à assurer une surveillance globale du ciel. Cette veille mondiale autorise parfois des découvertes d'intérêt majeur, comme celles d'étoiles subissant des phénomènes explosifs (novae, supernovae). Enfin, les amateurs jouent un rôle primordial dans la diffusion du savoir astronomique.

Ambartsoumian (Viktor Amazaspovitch), astrophysicien arménien (Tiflis, aujourd'hui Tbilissi, 1908 - Biourakan, 1996). Directeur de l'observatoire de Biourakan de 1946 à *1988,* il a découvert les associations stellaires, apporté une contribution fondamentale à leur étude dynamique ainsi qu'à celle des amas ouverts et a été le premier à soupçonner l'existence des phénomènes explosifs dans les noyaux des galaxies.

American Association of Variable Stars Observers (AAVSO). La plus

importante association d'observateurs d'étoiles variables du monde, fondée en 1911.
ADRESSE : 25 Birch Street, Cambridge, Massachusetts 02138, USA.

American Astronomical Society (AAS). Société fondée en 1899, aux États-Unis, pour contribuer au progrès et à la promotion de l'astronomie. Elle rassemble plus de 5 000 membres, astronomes professionnels pour la plupart, et publie plusieurs journaux scientifiques.
ADRESSE : 2000 Florida Avenue NW, Suite 300, Washington DC 20009, USA.

American Ephemeris and Nautical Almanac. Recueil annuel d'éphémérides publié de 1855 à 1980 par le *United States Naval Observatory.* Depuis 1981, il est remplacé par *Y Astronomical Almanac.*

American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA). Société américaine d'astronautique, fondée en 1930 sous le nom *dAmerican Interplanetary Society,* devenue en 19311'*American Rocket Society,* et qui a pris son nom actuel en 1963 après sa fusion avec une organisation similaire, *{'Institute ofAerospace Sciences.*

Amérique du Nord (nébuleuse). Nébuleuse diffuse NGC 7000, dans la constellation du Cygne, à 3° à l'ouest de l'étoile Deneb, et dont la forme rappelle celle de l'Amérique du Nord.
ENCYCL. C'est une région complexe formée de nébuleuses à émission, par réflexion, et à absorption. Découverte en 1786 par W. Herschel*, elle a été photographiée pour la première fois en 1890 par M. Wolf*. S'étendant sur environ 1°, elle est tout juste perceptible à l'œil nu dans les conditions les plus favorables. Distance : 2 300 années de lumière.

amerrissage n.m. Retombée d'un vaisseau spatial dans une étendue d'eau, en général un océan.
ENCYCL. Les États-Unis ont toujours récupéré en mer leurs capsules habitées (Mercury, Gemini et Apollo). Quant aux cosmonautes russes, dont les capsules sont conçues pour revenir sur la terre ferme, leur entraînement prend en compte l'éventualité d'un amerrissage accidentel dont la simulation a lieu près de Moscou.

Amor. Astéroïde 1221, découvert en 1932 par le Belge E. Delporte, prototype d'un groupe de petites planètes qui peuvent s'approcher fortement de la Terre. Distances extrêmes au Soleil : 162 et 413 millions de km. Période de révolution sidérale : 2,67 ans. Plus courte distance possible à la Terre : 16 millions de km. Diamètre estimé : 800 m.

amplificateur de brillance ou **de luminance.** Synonyme d'intensificateur d'image.

Amsat (abréviation de *radioAMateur SATellite corporation).* Organisation internationale créée en 1969 dans le but de soutenir les efforts des radioamateurs du monde entier.
ENCYCL. Son siège se trouve aux États-Unis, mais elle compte des ramifications dans presque tous les pays. Ses activités principales concernent la diffusion d'informations techniques et la réalisation des satellites OSCAR*. On estime à un million le nombre de radioamateurs dans le monde (dont 10 000 en France) : 20 % sont considérés comme actifs et 1 % (soit 10 000 d'entre eux) utiliseraient les liaisons par satellite.

ANAE. Sigle de Académie* Nationale de l'Air et de l'Espace.

analemmatique adj. Relatif à l'analemme, qui utilise l'analemme. *Cadran solaire analemmatique :* cadran solaire plan sur lequel l'heure se lit à l'intersection d'une ellipse graduée et de l'ombre d'un style rectiligne qui, en fonction de la déclinaison du Soleil, est déplacé parallèlement à lui-même en s'appuyant à la fois sur l'axe du monde et sur un diamètre quelconque de l'ellipse.
ENCYCL. Le cadran analemmatique a été décrit pour la première fois par Vaulezard en 1640. Le modèle le plus répandu est le cadran azimutal, dont le style vertical est déplacé sur le petit axe de l'ellipse (confondu avec la ligne de midi). Il en existe un beau spécimen, restauré en 1756 par J. Lalande, devant

l'église de Brou, à Bourg-en-Bresse (Ain) ; un autre se trouve à Montpellier (Hérault).

analemme n.m. Projection cylindrique verticale (orthographique) des cercles de déclinaison et des cercles horaires de la sphère céleste, qui fournit le canevas des cadrans solaires dits « analemmatiques ».

analyse spectrale. Synonyme de spectroscopie.

Ananke. Satellite de Jupiter (n° XII) découvert en 1951 par l'Américain S. Nicholson. Demi-grand axe de son orbite : 21 200 000 km. Période de révolution sidérale : 631 j. Diamètre : 20 km environ.

Ananoff (Alexandre), écrivain et conférencier français d'origine russe (Tiflis, auj. Tbilissi, Géorgie, 1910-Paris 1992).
Il fut un ardent propagandiste de l'astronautique à ses débuts. Enthousiasmé, à l'âge de dix-huit ans, par la lecture d'un ouvrage de Tsiolkovski, il consacre la première partie de sa vie à tenter d'attirer l'attention des scientifiques et d'éveiller la curiosité du grand public sur les possibilités de la propulsion par réaction et les voyages interplanétaires. En 1950, il organise à Paris le premier congrès international d'astronautique et publie *l'Astronautique,* ouvrage longtemps considéré comme une référence en la matière. À la fin des années 50, il cesse toute activité d'ordre spatial et se tourne vers l'histoire de l'art.

Anaxagore, philosophe grec (Clazomènes 500 - Lampsaque 428 av. J.-C.).
En supposant que la Lune, de même nature que la Terre, emprunte sa lumière au Soleil, il parvint à expliquer correctement les éclipses de Lune, par le passage de cet astre dans l'ombre de la Terre.

Anaximandre, philosophe et astronome grec (Milet v. 610 - v. 547 av. J.-C.).
Il aurait découvert l'obliquité de l'écliptique et, le premier, reconnu que le ciel paraît tourner autour de l'étoile Polaire.

And. Abréviation de *Andromeda,* désignant la constellation d'Andromède.

Andoya. Centre de lancement de fusées-sondes situé dans le nord de la Norvège.
ENCYCL. Depuis sa mise en service, en 1962, plus de 600 tirs y ont été effectués. La création d'une base pour lanceurs de microsatellites polaires est en projet. Coordonnées géographiques : 69,3° N., 16° E.

André-Deshays (Claudie), médecin et spationaute française (Le Creusot 1957).
Sélectionnée comme spationaute par le CNES en 1985, elle devient-le 17 août 1996 - la première Française à partir dans l'espace, au cours de la mission Cassiopée*.

Andromeda (-ae). Nom latin de la constellation d'Andromède (abrév. *And).*

Andromède (en latin *Andromeda, -ae),* constellation boréale.
ENCYCL. Ses trois étoiles les plus brillantes, Sirrah* (a), Mirach* (P) et Alamak* (y), sont pratiquement alignées dans le prolongement de la diagonale du *Carré de Pégase,* dont Sirrah marque le sommet supérieur gauche. Parmi les nombreuses curiosités célestes visibles dans la constellation, on peut citer aussi l'étoile *R And,* une variable du type Mira* dont l'éclat fluctue en 409 j avec une amplitude telle que sa magnitude apparente oscille entre *6,5* et 14,5. L'étoile Z *And* est le prototype des étoiles symbiotiques*. Un système de trois planètes a été détecté en 1999 autour de l'étoile Upsilon d'Andromède, distante de 43 années-lumière. Enfin, la constellation abrite la célèbre galaxie M 31, souvent appelée « galaxie d'Andromède ».

Andromède (galaxie d'). Galaxie perceptible à l'œil nu, par nuit pure et très sombre, dans la constellation d'Andromède, dans le prolongement de la ligne formée par les étoiles (3 et *jiAnd,* à 6° environ au N. de (3 *And.*
ENCYCL. Mentionnée pour la première fois au xe s. par l'astronome persan al-Sufî, qui la signale comme un « petit nuage céleste », elle fut observée pour la première fois à la lunette le 15 décembre 1612 par l'Allemand Simon Marius, qui lui trouva une ressemblance avec une chandelle vue à travers de la corne transparente. Ch. Messier, dans son

Catalogue des nébulosités célestes (1781), l'a répertoriée sous le n° 31, d'où sa désignation courante sous le matricule M 31. Sa véritable nature n'a été établie qu'en 1924 lorsque l'Américain E. Hubble*, à l'aide du télescope de 2,54 m de diamètre de l'observatoire du mont Wilson, parvint à la résoudre en étoiles : pour la première fois était ainsi démontrée l'existence de systèmes stellaires extérieurs à notre galaxie. On sait à présent qu'il s'agit d'une galaxie spirale de même type que la nôtre (type Sb), dotée de bras spiraux bien prononcés, avec une condensation centrale d'un développement moyen. Son diamètre est évalué à 160 000 années de lumière et l'on estime qu'elle rassemble environ 400 milliards d'étoiles. Située à une distance de 2 900 000 années de lumière, c'est l'objet céleste le plus lointain visible à l'œil nu. Elle constitue la galaxie la plus importante du Groupe* local. Elle est accompagnée de deux petites galaxies satellites elliptiques : M 32 (NGC 221) et NGC 205. À la différence de la plupart des galaxies, qui s'éloignent de nous, le décalage des raies de son spectre vers le bleu, interprété comme un effet Doppler-Fizeau, indique qu'elle se rapproche, avec une vitesse radiale de 275 km/s.

Des observations effectuées en 1993, à l'aide du télescope spatial Hubble et du télescope Canada-France-Hawaii, ont montré que son noyau possède une structure complexe. La galaxie semble comporter deux noyaux séparés par une distance de 5 années de lumière environ. Curieusement, c'est le moins brillant des deux qui correspond au centre de rotation de la galaxie. L'autre pourrait être ce qui subsiste d'une petite galaxie qui a été « cannibalisée » par M 31. L'étude du mouvement des étoiles dans la région nucléaire suggère que celle-ci abrite un volumineux trou noir dont la masse représente quelques dizaines de millions de fois celle du Soleil.

Andromédides. Autre nom des *Biélides.*

anéchoïque adj. *Chambre anéchoïque :* local dont les parois recouvertes d'un matériau absorbant ne réfléchissent pas les ondes électromagnétiques ou les ondes acoustiques (dans ce dernier cas, on utilise également l'appellation *chambre sourde).*
ENCYCL. Les chambres anéchoïques sont utilisées pour simuler dans une enceinte fermée, c'est-à-dire à l'abri des intempéries, les conditions de l'espace libre.

Angara. Lanceur lourd russe dont la mise en service est prévue vers 2005.
ENCYCL. Cette fusée à deux ou trois étages sera lancée de Plessetsk et capable de placer 261 de charge utile en orbite basse autour de la Terre ou 4,5 t sur l'orbite géostationnaire. Le premier étage fonctionnera avec un mélange d'oxygène et de kérosène ; les deux autres étages, cryotechniques, avec un mélange d'oxygène et d'hydrogène liquides.

angle de phase   phase

angle horaire -» horaire

anglo-australien (observatoire). Observatoire fondé par les gouvernements d'Australie et du Royaume-Uni, et implanté sur le site de l'observatoire de Siding* Spring, en Nouvelle-Galles du Sud (Australie). Ses deux principaux instruments sont le télescope anglo-australien de 3,90 m d'ouverture, mis en service en 1975, et un télescope de Schmidt de 1,20 m, installé par le Royaume-Uni en 1973.

angstrôm n.m. (de A.J. *Angstrôm,* physicien suédois [1814-1874]). Unité de mesure de longueur (symb. Â), utilisée particulièrement pour la mesure des longueurs d'onde, et valant un dix-milliardième de mètre, soit ÎO"10 mètre.

Anik. Satellites canadiens géostationnaires de télécommunications intérieures. Cinq générations de ces satellites ont été lancées : Anik A (1972-1975), Anik B (1978), Anik C (1982-1985), Anik D (1982-1984) et Anik E (1991). La génération suivante, Anik F, est attendue vers 2003-2004.

animaux dans l'espace   biologie spatiale

Ankaa. Étoile *a* du Phénix. Magnitude ap^ parente visuelle : 2,4. Type spectral : KO. Distance : 78 années de lumière.

anneau d'astéroïdes. Synonyme de ceinture* d'astéroïdes.

anneau de crêpe. Nom couramment donné à l'anneau C de Saturne, en raison de son aspect sombre.

anneau de diamant. Phénomène lumineux observable immédiatement avant ou après la phase de totalité d'une éclipse* totale de Soleil, quand la photosphère solaire s'apprête à disparaître derrière la Lune ou vient de réapparaître, et brille à la manière d'un anneau de diamant à cause des aspérités du relief lunaire.

anneau n.m. Zone approximativement circulaire de matière, peuplée d'une multitude de petits corps solides se déplaçant chacun avec sa vitesse propre, que l'on observe autour des grosses planètes du système solaire.
ENCYCL. Grâce aux sondes américaines Voyager, on sait à présent que les quatre grosses planètes extérieures du système solaire (Jupiter*, Saturne*, Uranus* et Neptune*) sont entourées, dans leur plan équatorial, d'un système complexe d'anneaux. Ceux-ci présentent toutefois des caractéristiques extrêmement différentes d'une planète à l'autre : ainsi, ceux d'Uranus sont très sombres, parce que constitués vraisemblablement de poussières carbonées, tandis que ceux de Saturne sont très brillants, parce que formés de blocs recouverts ou à base de glace. Les dimensions de leurs constituants sont également très variables (de la taille d'une poussière à plusieurs mètres). Enfin, leur structure est souvent irrégulière et semble modelée par l'attraction gravitationnelle de petits satellites.

Les anneaux de Neptune présentent des zones plus denses, détectées indirectement depuis la Terre à la faveur de l'occultation de certaines étoiles, ce qui avait conduit à supposer l'existence d'arcs de matière autour de Neptune plusieurs années avant le survol de la planète par la sonde Voyager 2. L'une des nombreuses énigmes que posent les anneaux est celle de savoir s'ils sont des résidus fossiles de la formation des planètes ou le résultat d'un processus d'évolution par fracture et agrégation successives.

année cosmique **cosmique**

année de lumière. Unité de longueur (symb. al) équivalant à la distance* parcourue en un an par la lumière dans le vide, soit environ 9,461.10^{12} km. On dit couramment, mais abusivement, *année-lumière.*

Année géophysique internationale (AGI). Ensemble de recherches, coordonnées à l'échelle mondiale, menées entre juillet 1957 et décembre 1958, lors d'une période d'activité solaire maximale, en vue d'une meilleure connaissance des propriétés physiques de la Terre et des interactions entre le Soleil et notre planète.
ENCYCL. L'AGI permit de réaliser de nombreuses observations simultanées, portant sur divers phénomènes géophysiques, depuis un grand nombre de zones du globe, surtout celles délaissées jusqu'alors comme les régions polaires, en particulier l'Antarctique. Sa préparation stimula puissamment la recherche spatiale, les États-Unis et l'URSS ayant annoncé dès juillet 1955 qu'ils lanceraient chacun un satellite artificiel à l'occasion de l'AGI. Les avatars du programme Vanguard*, choisi pour représenter la contribution américaine à l'AGI, valurent à l'URSS d'être, à la surprise générale, la première puissance à mettre en orbite un satellite, Spoutnik* 1. Mais c'est le premier satellite américain, Explorer* 1, qui permit l'une des découvertes les plus importantes de l'AGI : celle des ceintures* de Van Allen. L'AGI fut également l'occasion pour des nations telles que la France, le Royaume-Uni, le Japon, le Canada et l'Australie de développer des programmes de fusées-sondes pour l'exploration de la haute atmosphère. C'est ainsi que la France développa la version AGI de la fusée-sonde Véronique, qui pouvait emporter une charge utile de 60 kg à 210 km d'altitude.

année n.f. Période de révolution de la Terre autour du Soleil, ou durée conventionnelle qui en est voisine. Par extension, période de révolution de toute autre planète autour du Soleil : année martienne, vénusienne, etc.
ENCYCL. La valeur approchée de l'année peut être évaluée de diverses manières. L'année sidérale est la durée de la révolution de la

Terre mesurée par rapport aux étoiles : c'est l'intervalle de temps au bout duquel le Soleil, dans son mouvement apparent par rapport aux constellations, se retrouve en face des mêmes étoiles. Elle vaut 365,256 3 j., soit 365 j 6 h 9 min 9,5 s.
L'année tropique est l'intervalle de temps compris entre deux équinoxes de printemps. Elle est un peu plus courte que l'année sidérale car, du fait de la précession*, le point vernal* rétrograde lentement sur l'écliptique. Mais c'est l'année des saisons, sur laquelle se fonde le calendrier. Elle vaut approximativement 365,242 2 j, soit 365 j 5 h 48 min 46 s. Si le calendrier était établi d'après l'année sidérale, on assisterait à une dérive progressive des saisons : celles-ci, au fil des siècles, couvriraient des mois différents.

Les astronomes utilisent encore l'année anomalistique, intervalle de temps séparant deux passages consécutifs de la Terre au périhélie de son orbite. Elle vaut 365,259 6 j, soit 365 j 6 h 13 min 53 s. Elle est plus longue que l'année sidérale de 4 min 43 s. En effet, le grand axe de l'orbite terrestre, joignant l'aphélie au périhélie, tourne lentement dans le plan orbital en pivotant autour du Soleil ; ce déplacement du périhélie s'effectue dans le même sens que la révolution de la Terre et atteint 11,3" par an; pour revenir au périhélie, la Terre, au terme d'une année sidérale, doit donc parcourir encore sur son orbite ce petit arc supplémentaire.
Pour les besoins de la vie courante, l'année doit comporter un nombre entier de jours. C'est pourquoi on utilise l'année civile, de 365 ou 366 j, qui débute le 1er janvier et s'achève le 31 décembre. -• **calendrier**

Annihilateur (Grand). Nom donné à une puissante source de rayonnement *y* proche du centre de la Galaxie.
ENCYCL. Cette source variable a été mise en évidence par diverses observations effectuées à l'aide de ballons ou de satellites. Le nom de « Grand Annihilateur » lui a été donné par l'Américain M. Leventhal à la suite d'une émission particulièrement intense, observée le 13 octobre 1990, dont l'énergie, proche de 511 keV, correspondait à celle que libère l'annihilation (c'est-à-dire la destruction mutuelle) d'électrons avec leurs antiparticules, les positrons. Les observations effectuées alors par le télescope français Sigma installé à bord du satellite russe Granat ont permis pour la première fois de localiser la source avec une précision suffisante pour l'identifier à une source de rayonnement X dur déjà connue, 1E1740.7-2942, située à 1° environ (quelque 300 années de lumière) du centre dynamique de notre galaxie.
Des observations ultérieures ont montré l'existence, à l'emplacement de la source de rayonnement *y,* d'une source compacte d'ondes radio, de laquelle partent deux jets de matière symétriques, longs de plus de 3 années de lumière chacun. Les corrélations entre les variabilités des rayonnements X et radio ont prouvé sans ambiguïté que ces émissions proviennent d'un même objet. L'ensemble des données d'observation suggère que le Grand Annihilateur est un petit trou noir de masse comparable à celle des étoiles, plongé dans un nuage de gaz très dense et entouré d'un disque de matière provenant soit d'une étoile compagnon de faible masse, soit du nuage moléculaire environnant. Des instabilités thermiques dans le disque induiraient la production massive de paires électron-positron. Une fraction de celles-ci s'annihilerait à proximité du trou noir ; le reste des particules chargées s'échapperaient en deux jets perpendiculaires au disque, à des vitesses proches de celle de la lumière, et émettraient des ondes radio, par effet synchrotron*, en interagissant avec un champ magnétique. Freinées par le gaz du nuage moléculaire, ces paires électron-positron s'annihileraient finalement à quelque 3 années de lumière de l'objet central, pour donner naissance à l'émission de rayonnement *y* variable enregistrée depuis la fin des années 1970.

annulaire adj. -* **éclipse (de Soleil)**

anomal, e adj. *Queue anomale,* synonyme de antiqueue.

anomalie n.f. Angle caractéristique du mouvement d'un corps qui décrit une orbite elliptique.
ENCYCL. L'anomalie vraie est l'angle formé par le rayon vecteur du corps et la direction du

périhélie de son orbite (ligne joignant le foyer au périhélie). L'anomalie moyenne est l'angle analogue pour un corps hypothétique qui décrirait son orbite dans le même temps que le corps réel mais avec une vitesse angulaire uniforme. L'anomalie excentrique est un angle compté à partir du centre de l'orbite, qui permet d'exprimer la longueur variable du rayon vecteur en fonction du demi-grand axe de l'orbite et de son excentricité. Il existe une relation entre l'anomalie moyenne et l'anomalie excentrique, connue sous le nom *d'équation de Kepler.*

anomalistique adj. -* **année**

ANPCN. Sigle de Association Nationale pour la Protection du Ciel Nocturne.

ANS (sigle de *Astronomische Nederlands Satelliet* satellite néerlandais d'astronomie). Premier satellite hollandais, mis en orbite le 30 août 1974 par une fusée américaine Scout. On lui doit notamment la découverte, en 1975, des sursauts* X.

Ant. Abréviation de *Antlia,* désignant la constellation de la Machine pneumatique.

antapex n.m. Point de la sphère céleste diamétralement opposé à l'apex*.

Antarès (du grec *anti Arês,* rival de Mars, par allusion à sa couleur rougeâtre, analogue à celle de la planète Mars). Etoile a du Scorpion. Magnitude apparente visuelle : 1 (variable). Type spectral : Ml. Distance : 700 années de lumière.

Antarès (du nom de l'étoile la plus brillante de la constellation du Scorpion). *Troisième* mission spatiale habitée réalisée en coopération entre la France et l'URSS (puis la CEI).
ENCYCL. Elle a fait suite à PVH (1982) et Aragatz (1988). Parti de Baïkonour le 27 juillet 1992, en compagnie de deux cosmonautes russes, Michel Tognini (3e spationaute français) a rejoint le surlendemain la station orbitale Mir. Il y a séjourné jusqu'au 10 août, se consacrant principalement à dix expériences : six portaient sur les recherches biomédicales (Orthostatisme, Illusion, Viminal 92, Nausicaa 1, Biodose et Immunologie 92), deux sur la physique (Alice et Supraconducteur), deux sur la technologie spatiale (Exeq et Microaccéléromètre). La masse totale de l'instrumentation correspondante représentait environ 300 kg.

Antennes (les). Appellation courante de la paire de galaxies en interaction NGC 4038/4039, dans la constellation du Corbeau, en raison des deux longs filaments incurvés de matière qui s'en détachent, au nord et au sud. Distance : 63 millions d'années de lumière. Longueur des filaments : 100 000 années de lumière.

anthropique (principe). L'un des principes de la cosmologie moderne, selon lequel l'existence de l'homme impose a posteriori des conditions nécessaires à la structure de l'Univers.
ENCYCL. D'un point de vue strictement théorique, il est possible de concevoir de nombreux modèles d'univers, qui diffèrent par leurs propriétés physiques et par les valeurs de certaines constantes fondamentales. Le principe anthropique faible pose que seuls certains de ces modèles sont compatibles avec l'existence d'êtres intelligents. Cette formulation ne suscite guère de controverses parmi les cosmologistes ; toutefois, certains n'accordent qu'une faible importance à ce principe, tandis que d'autres le considèrent comme fondamental, estimant qu'un grand nombre des propriétés locales ou globales de l'Univers peuvent se déduire du fait que nous existons.

Beaucoup plus discuté, et récusé par certains spécialistes, le principe anthropique fort, formulé par l'astrophysicien anglais Brandon Carter, postule, en s'appuyant sur l'abondance de phénomènes naturels apparemment fortuits qui ont rendu possible l'émergence de la vie, que l'Univers « devait » conduire à l'apparition de l'homme au cours de son évolution.

Anthrorack. 1. Programme de recherches de l'Agence spatiale européenne sur la physiologie humaine en micropesanteur. **2.** Équipement à usages multiples conçu pour des études diverses sur le cœur, les pou-

mons, les muscles, le sang, etc., des astronautes. Le premier séjour dans l'espace de ce véritable laboratoire médical spatialisé a eu lieu du 26 avril au 6 mai 1993, en tant qu'élément de la charge utile de la mission allemande D2 du Spacelab. dans la soute 'de la navette américaine.

anti-g adj. inv. Se dit d'un équipement qui atténue les effets des accélérations et de la pesanteur, comme le pantalon porté par les pilotes de chasse ou par les spationautes de retour sur Terre.

antimatière n.f. Forme de matière constituée de particules de masse égale mais de charge opposée à celles des particules correspondantes de la matière ordinaire.
ENCYCL. Bien que les théories actuelles décrivant les particules et leurs interactions respectent la symétrie matière/antimatière, l'Univers semble être formé essentiellement de matière. Des indices de la présence d'antimatière ont toutefois été décelés localement (notamment à proximité du centre de notre galaxie) par des émissions de rayonnement gamma imputables à des réactions d'annihilation mutuelle d'électrons et de positons (anti-électrons). Faut-il admettre que l'Univers était primitivement constitué à parts égales de particules et d'antiparticules et que son évolution a détruit cette symétrie initiale ? Ou bien renferme-t-il des îlots d'antimatière qui rétabliraient globalement la parité ? La seconde hypothèse apparaît moins probable que la première.

antiqueue n.f. Traînée lumineuse, généralement courte et étroite, apparaissant parfois, par un effet de perspective, dans le prolongement du noyau d'une comète, en direction du Soleil, à l'opposé de la queue principale, SYN : *queue anomale*
ENCYCL. Elle est due à la lumière diffusée par des poussières localisées autour du plan orbital de la comète et s'éloignant du Soleil suivant une trajectoire fortement déviée en arrière du rayon vecteur.

antisolaire adj. *Direction antisolaire :* direction opposée à celle du Soleil, pour un observateur donné. *Lueur antisolaire :* synonyme de Gegenschein.

Antlia (-ae). Nom latin de la constellation de la Machine pneumatique (abrév. *Ant).*

Antoniadi (Eugène), astronome français d'origine grecque (Istanbul 1870 - Meudon 1944).
Il fut un observateur hors pair des surfaces planétaires, en particulier celles de Mars et de Mercure, dont il a laissé de très nombreux dessins effectués à l'oculaire de la grande lunette de l'observatoire de Meudon. Ses observations contribuèrent à montrer que les canaux de Mars n'étaient que des illusions d'optique.

Ap J. Abréviation de *AstrophysicalJournal.*

Apennins. Chaîne de montagnes, sur la Lune, formant une partie du bord oriental de la mer des Pluies. Nom international : *Montes Apenninus.*

apesanteur n.f. Synonyme de impesanteur. Terme déconseillé en raison du risque de confusion auditive entre la pesanteur et l'apesanteur.

apex n.m. (mot latin signifiant *pointe, sommet).* Point de la sphère céleste, situé dans la constellation d'Hercule, vers lequel se déplacent le Soleil et le système solaire par rapport aux étoiles voisines, à une vitesse de 19,6 km/s. Coordonnées approximatives : a = 18 h 00 min; 8 = +30°, a et 5 étant respectivement l'ascension droite et la déclinaison.

aphélie n.m. (du grec *apo,* loin, et *hêlios,* soleil). Point de l'orbite d'un corps tournant autour du Soleil où la distance de ce corps au Soleil est maximale, CONTR. : *périhélie.*
Par extension, cette distance elle-même.

Aphrodite Terra. L'une des principales régions montagneuses de Vénus, près de l'équateur de la planète.
ENCYCL. Sa superficie est comparable à celle de l'Afrique. Elle s'étend sur près de 3 000 km de long et culmine, dans sa partie ouest, à plus de 5 000 m d'altitude.

Apian ou **Apianus** (Peter Bienewitz ou Bennewitz, dit Petrus), mathématicien, géo-

graphe et astronome allemand (Leisnig, Saxe, 1495 - Ingolstadt 1552).
Célèbre pour ses cartes et ses ouvrages d'astronomie richement illustrés, il observa la comète de Halley lors de son retour de 1531 et, à cette occasion, fut avec Fracastor le premier à remarquer, en Europe, que les queues cométaires sont dirigées à l'opposé du Soleil. Il fut aussi l'un des premiers à suggérer, dans sa *Cosmographie* (1524), de déterminer les longitudes d'après l'étude des mouvements de la Lune.

aplanétisme n.m. Qualité d'un système optique ne présentant pas d'aberration géométrique pour un point objet situé à faible distance de l'axe de l'instrument, c'est-à-dire tel que tous les rayons lumineux issus d'un même point objet vont se rencontrer au même point image.
ENCYCL. L'aplanétisme exige, d'une part, que les rayons issus d'un point lumineux situé sur l'axe optique de l'instrument convergent vers un point unique de l'axe (stigmatisme sur l'axe ou suppression de l'aberration sphérique) et, d'autre part, que cette qualité optique de stigmatisme se conserve pour des points voisins de l'axe. On démontre que les lentilles à face sphérique ont un aplanétisme assez bon. En revanche, les miroirs paraboliques ne sont pas aplanétiques ; le champ de netteté des télescopes à miroir parabolique est donc très limité.
Pour réaliser un télescope aplanétique, il faut recourir à des miroirs hyperboliques. **— • Ritchey-Chrétien (télescope)**

aplatissement n.m. Paramètre sans dimension, caractérisant la non-sphéricité d'un astre en rotation, égal à la variation relative d'une grandeur (distance au centre, pesanteur) entre l'équateur et les pôles de cet astre. Pour une planète, l'aplatissement est le rapport $(a-b)/a$ de la différence des rayons mesurés à l'équateur (a) et au pôle (b), au rayon à l'équateur.

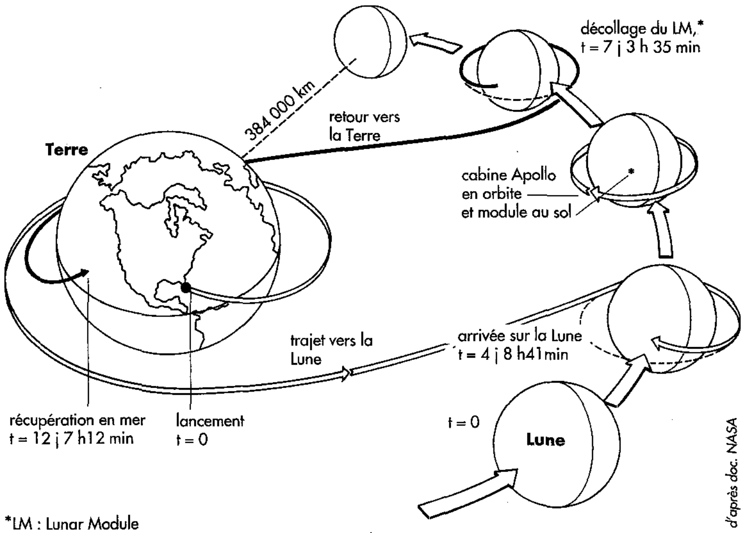
apoastre n.m. Point de l'orbite d'un corps céleste gravitant autour d'un autre où la distance des deux corps est maximale.
ENCYCL. L'apoastre d'une orbite autour de la Terre (Lune, satellites artificiels) s'appelle *apogée,* celui d'une orbite autour du Soleil (planètes, comètes), *aphélie.* Le terme s'emploie plus spécialement dans le cas des étoiles doubles, CONTR. : *périastre.*

apogée n.m. (du grec *apo,* loin, et *geos,* terre). Point de l'orbite d'un satellite de la Terre où la distance de ce corps à la Terre est maximale. Par extension, point de l'orbite d'un corps quelconque du système solaire où la distance de ce corps à la Terre est maximale, CONTR. : *périgée.*
Par extension, cette distance elle-même.

Apollo. Astéroïde 1862, découvert en 1932 par l'Allemand Reinmuth, perdu, puis retrouvé en 1973, prototype d'un groupe de petites planètes dont l'orbite coupe celle de la Terre.
ENCYCL. Distances extrêmes au Soleil : 97 et 343 millions de km. Période de révolution sidérale : 1,78 an. Plus courte distance possible à la Terre : 3,7 millions de km. Diamètre estimé : 2,1 km.

Apollo. Programme américain d'exploration humaine de la Lune décidé en 1961 par le président Kennedy et qui s'est achevé en 1972.
ENCYCL. Le programme Apollo avait comme objectif le débarquement d'astronautes sur la Lune avant 1970. Ce qui n'était au départ qu'un défi politique destiné à rétablir aux yeux du monde la suprématie technologique des États-Unis, sérieusement entamée par le succès des premiers vols spatiaux soviétiques, s'est transformé en une fantastique aventure industrielle et technologique de 25 milliards de dollars, à laquelle ont collaboré de près ou de loin 20 000 firmes et 350 000 personnes.
Le vaisseau Apollo comprenait trois compartiments : 1) un module de commande conique de 61, destiné à assurer le transport aller-retour de 3 astronautes entre la Terre et une orbite circumlunaire ; 2) un module de service cylindrique de 23 t accroché à l'arrière du précédent et contenant tous les systèmes de servitude et de propulsion nécessaires pour le voyage autour de la Lune ; 3) un module lunaire de 15 t, destiné à la descente, au séjour sur la Lune et à la remontée en orbite de 2 astronautes. Le module de commande et le module de service restaient

Profil de vol type d'une mission lunaire **Apollo** (Apollo 15, 1971)



*LM : Lunar Module

solidaires (formant un vaisseau unique, le module de commande et de service) jusqu'à l'ultime phase de vol, quand le module de commande prenait son autonomie pour rentrer dans l'atmosphère terrestre. Le module lunaire comprenait un étage de descente de 10 t, abandonné sur la Lune, et un étage de remontée de 5 t, largué dans l'espace après que ses deux occupants eussent réintégré le module de commande et de service en orbite autour de la Lune.
De juillet 1969 à décembre 1972, six missions Apollo ont permis à 12 astronautes de séjourner au total près de 12,5 j sur la Lune, dont 80 h 18 min hors de leur vaisseau spatial, de parcourir 92,3 km à la surface de l'astre et de rapporter sur la Terre 2 196 échantillons de roches lunaires représentant une masse totale de 381,7 kg. C'est lors du vol Apollo 11 qu'eut lieu, le 20 juillet 1969, le premier atterrissage sur la Lune d'un vaisseau piloté, à bord duquel se trouvaient Neil Armstrong et Edwin Aldrin.

Apollo-Soyouz ASTP

aposélène n.m. (du grec *apo,* loin, et *sêlêne,* lune). Point de l'orbite d'un corps tournant autour de la Lune où la distance de ce corps à la Lune est maximale, CONTR. : *périsélène.*

apparent, e adj. Caractérise un paramètre physique (diamètre, éclat, magnitude...) ou cinématique (vitesse, trajectoire...) d'un astre tel qu'il est perçu ou observé.

appulse n i. (du latin *appulsus,* approche). Rapprochement apparent sur la sphère céleste d'une étoile avec la Lune ou une planète, dans lequel l'étoile passe au voisinage immédiat du limbe de la Lune ou de la planète sans être occultée.

Aps. Abréviation de *Apus,* désignant la constellation de l'Oiseau de Paradis.

apside n.f. (du grec *apsis, -idos,* voûte). Apoastre ou périastre d'une orbite. *Ligne des apsides :* droite joignant l'apoastre au périastre d'une orbite.

Apus (-odis). Nom latin de la constellation de l'Oiseau de Paradis (abrév. *Aps).*

Aql. Abréviation de *Aquila,* désignant la constellation de l'Aigle.

Aqr. Abréviation de *Aquarius,* désignant la constellation du Verseau.

Aquarides. Essaim de météorites* ou météores associés observables autour du 4 mai (e Aquarides) ou du 5 août (t Aquarides), dont le radiant se situe dans la constellation du Verseau.

Aquarius (-ii). Nom latin de la constellation du Verseau (abrév. *Aqt).*

Aquila (-ae). Nom latin de la constellation de l'Aigle (abrév. *Aqt).*

Ara. *î.* Nom latin de la constellation de l'Autel (abrév. *Ara).* **2.** Abréviation de *Ara, -ae,* désignant la constellation de l'Autel.

Arabsat. Organisation de communications par satellites, créée en 1976 par la Ligue arabe.
ENCYCL. Elle a pour mission d'acquérir les satellites, véhicules de lancement et moyens de contrôle et d'opérations pour l'exploitation d'un système de télécommunications propre aux pays de la Ligue arabe (21 pays en 1995). Son siège est à Riyad. Trois générations de satellites Arabsat se sont succédé depuis 1985.

Aragatz. Deuxième mission spatiale habitée réalisée en coopération franco-soviétique.
ENCYCL. Décidée formellement en octobre 1986, lors des rencontres d'Erevan, en Arménie, la mission Aragatz (du nom du plus haut sommet de cette ancienne république soviétique) comprendra finalement le séjour d'un spationaute français pendant plus de trois semaines dans la station orbitale Mir, une sortie extravéhiculaire et l'exécution d'un important programme d'expériences biomédicales (Échographie, Minilab, Physalie, Viminal et Circé) - complétées par des mesures au sol (Tissu osseux et Lymphocytes) - et technologiques (Amadeus, Ercos, Échantillons, ERA) mettant en œuvre près de 600 kg d'instruments.
Sélectionné en juillet 1986, en même temps que Michel Tognini, son remplaçant, Jean-Loup Chrétien décolle de Baïkonour le 26 novembre 1988, à bord de Soyouz TM-7, aux côtés des cosmonautes soviétiques A. Volkov et S. Krikalev. Le 28, ils rejoignent la station où les accueillent V. Titov et M. Manarov (dans l'espace depuis le 21 décembre 1987). Le 9 décembre, Volkov et Chrétien travaillent environ six heures à l'extérieur de Mir (à l'époque, c'est la plus longue sortie extravéhiculaire) pour mettre en place les expériences Échantillons et ERA (structure déployable qui ne cédera que sous les coups de pied de Volkov). Le spationaute français revient sur terre le 21 décembre 1988 (sa mission a duré 26 jours), accompagné de Titov et Manarov, lesquels, partis 366 jours plus tôt, établissent un nouveau record de durée dans l'espace.

Arago (François), astronome, physicien et homme politique français (Estagel, Roussillon, 1786 - Paris 1853).
C'est à l'Observatoire de Paris, où il passa la plus grande partie de sa vie et dont il fut directeur des observations en 1834, puis directeur de 1843 à sa mort, qu'il effectua la plupart de ses recherches scientifiques. Ses travaux personnels intéressant l'astronomie ont été principalement des applications de ses autres recherches (en polarimétrie et photométrie notamment) à la physique solaire, stellaire et atmosphérique.
On lui doit d'avoir discerné, dès 1839, l'importance que prendrait la photographie en astronomie ; c'est à son initiative que Fizeau et Foucault obtinrent, le 7 décembre 1845, le premier daguerréotype du Soleil. Sa contribution à l'astronomie a été marquée essentiellement par ses talents de pédagogue, de vulgarisateur, d'administrateur et d'organisateur. Le cours public d'astronomie du Bureau des longitudes qu'il assura de 1813 à 1846 connut une grande affluence et fut à l'origine de son *Astronomie populaire* (1854-1857 ; 4 tomes), constituant une encyclopédie extrêmement documentée de l'astronomie de l'époque. À l'Académie des sciences, il fit accepter en 1825 la présence des journalistes aux séances, et fit créer les *Comptes rendus,* publiés depuis 1835.

araignée n.f. 1. Support du miroir secondaire d'un télescope. **2.** Disque très découpé s'adaptant sur le tympan d'un astrolabe* et indiquant, à l'aide d'index, les positions des étoiles brillantes.

Aratos, poète grec (Soles, Cilicie, v. 315 - en Macédoine, v. 240 av. J.-C.). Il est l'auteur d'un poème didactique, les *Phénomènes,* consacré à l'astronomie et à la météorologie, où, pour la première fois, les constellations sont désignées par des noms empruntés à la mythologie grecque.

arbalestrille n.f. Instrument ancien de visée qui servait à mesurer la hauteur des astres au-dessus de l'horizon. Il aurait été inventé au xiv[e] siècle par le savant juif Levi ben Gerson, dit Gersonides. SYN : *bâton de Jacob.*

arc n.m. Concentration de matière affectant une portion d'un anneau planétaire. Des arcs ont été détectés dans les anneaux de Neptune* ainsi que dans certains anneaux de Saturne* et d'Uranus*. *Arc gravitationnel :* arc lumineux observable autour du cœur d'un amas de galaxies et que l'on interprète comme l'image d'une galaxie plus lointaine déformée par l'attraction gravitationnelle de l'amas, conformément à la théorie de la relativité* générale. -> **lentille gravitationnelle, mirage gravitationnel**

Arcadia Planitia. Plaine de l'hémisphère nord de Mars.

Arcetri (observatoire d'astrophysique d'). Observatoire fondé en 1872 sur la colline d'Arcetri, au sud de Florence, en Italie, à proximité de la maison où Galilée passa les dernières années de sa vie.
ENCYCL. Longtemps spécialisé dans l'étude du Soleil, Arcetri comporte une tour* solaire, mise en service en 1925, dont l'objectif a une longueur focale de 18 m. Un télescope infrarouge de 1,5 m d'ouverture a été installé en Suisse sur le Gornergrat, près de Zermatt, à plus de 3 000 m d'altitude.

archéoastronome n.m. Spécialiste d'archéoastronomie.

archéoastronomie n.f. Étude de l'activité astronomique des civilisations anciennes grâce aux vestiges qui en subsistent (monuments, documents écrits, etc.).
ENCYCL. L'archéoastronomie a débuté il y a environ un siècle avec les études de l'astronome anglais J. N. Lockyer sur l'orientation des pyramides d'Égypte. L'Américain Gerald Hawkins lui a donné un nouvel essor au cours des années 1960 avec ses recherches concernant l'ensemble mégalithique de Stonehenge. Ce domaine reste un champ de controverses en raison du caractère souvent fragmentaire et ambigu des éléments sur lesquels se fondent les recherches. **mégalithe**

Arcturus (du gr. *arctos oura,* à la queue de l'Ourse, parce qu'elle se situe dans le prolongement de la queue de la Grande Ourse). Étoile *a* du Bouvier, la quatrième des plus brillantes du ciel et la plus brillante du ciel boréal. Magnitude apparente visuelle : - 0,06. Type spectral : K2. Distance : 37 années de lumière. Rayon: 26 fois celui du Soleil. C'est la première étoile à avoir été observée en plein jour (Morin, 1635) et dont on ait déterminé le mouvement propre (Halley, 1718).

ARD (sigle de *Atmospheric Reentry Demonstrator,* démonstrateur de rentrée atmosphérique). Capsule spatiale expérimentale, inhabitée et de conception simple, dont l'Agence spatiale européenne a décidé la réalisation en 1994 et qui a été lancée le 21 octobre 1998 lors du 3[e] vol de qualification de la fusée Ariane 5.
ENCYCL. De forme conique, rappelant celle des capsules Apollo*, avec un diamètre de 2,8 m, une longueur de 2 m et une masse voisine de 2 800 kg, le véhicule ARD a été réalisé par une équipe de 22 contractants appartenant à neuf pays européens, sous la maîtrise d'œuvre d'Aerospatiale*. Largué dans l'espace après l'extinction de l'étage principal cryotechnique du lanceur et avant l'aËumage de son étage à propergol stockable, il a suivi une trajectoire suborbitale balistique d'environ 800 km d'apogée et, au terme d'un vol d'environ 1 h 30, est rentré dans l'atmosphère, puis, freiné par trois parachutes, a amerri dans l'océan Pacifique où il a été récupéré. Le vol de l'ARD avait pour principaux objectifs de valider la capacité de l'Europe à maîtriser les problèmes aérothermodynamiques liés à la rentrée dans l'atmosphère d'un véhicule spatial récupérable (notamment par la mise au point de techno-

logies de protection thermique appropriées) et de lui permettre d'acquérir une expérience opérationnelle en matière de navigation, de pilotage, de guidage le long d'une trajectoire de rentrée et de récupération.

Arecibo (radiotélescope d'). Radiotélescope paraboloïdal américain de 305 m de diamètre (le plus grand du monde), installé dans une dépression naturelle du sol, au N.-E. de Porto Rico, et mis en service en 1963.

ENCYCL. La surface collectrice, constituée d'un assemblage de 38 778 panneaux d'aluminium de 1 m sur 2 m chacun, ajustés à moins de 1 mm près, couvre plus de 73 000 m^2. L'équipement de réception est disposé sur une plate-forme mobile suspendue à 130 m au-dessus du sol grâce à un jeu de câbles supportés par trois pylônes. En déplaçant convenablement cette nacelle, on parvient à utiliser l'instrument dans un champ d'environ 20° autour du zénith. L'adjonction d'un réflecteur secondaire suspendu à 135 m au-dessus du collecteur principal donne à l'instrument, depuis 1998, de nouvelles possibilités et lui permet de fonctionner sur une gamme de fréquences beaucoup plus large, s'étendant de 300 MHz à 10 GHz. Exploité par l'université Cornell, ce radiotélescope est utilisé non seulement comme récepteur, pour l'étude de radiosources célestes, mais aussi comme émetteur. **radarastronomie**

Il a servi à émettre, le 16 novembre 1974, sur la fréquence de 2 380 MHz, en direction des étoiles de l'amas M13 de la constellation d'Hercule, distant de 25 000 années de lumière, le premier message radio jamais envoyé par l'humanité à l'adresse d'autres civilisations du cosmos.

Arend-Roland (comète) [1957III], Comète découverte le 8 novembre 1956 à l'observatoire d'Uccle (Belgique) par Arend et Roland.

ENCYCL. Dans la deuxième quinzaine d'avril 1957, elle atteignit une magnitude voisine de 0, tandis que sa queue de poussières s'étendait sur environ 30° (le sixième de la voûte céleste). Le 25 avril, date à laquelle la Terre traversa le plan de son orbite, elle présenta un beau spécimen d'antiqueue*. C'est la première comète pour laquelle on a pu estimer la taille des poussières éjectées, à partir de l'étude de leurs trajectoires dans la queue.

aréographie n.f. (de *Arès,* dieu grec de la Guerre, à qui les Romains assimilèrent leur dieu Mars, et *-graphie).* Étude descriptive de la surface de la planète Mars.

Argelander (Friedrich Wilhelm August), astronome allemand (Memel 1799 - Bonn 1875).

Directeur de l'observatoire de Bonn (1837), il a laissé une oeuvre fondamentale pour l'astronomie stellaire. Il contribua à développer l'étude des étoiles variables, et ses observations confirmèrent l'existence des mouvements propres stellaires ainsi que le déplacement du système solaire dans la Galaxie. Enfin, on lui doit le plus important catalogue d'étoiles jamais réalisé, le *Borner* Durchmusterung* et l'atlas céleste correspondant.

Argo -> Navire

Argos. Système français de localisation et de collecte de données par satellite.

ENCYCL. Fruit d'une coopération entre la France (CNES) et les États-Unis (NASA, NOAA), ce système - pour lequel un protocole d'accord a été signé en 1974 et reconduit en 1986 - permet de localiser des plates-formes (fixes ou mobiles), ou balises, dispersées à travers le monde et de collecter les informations qu'elles émettent.

Le système Argos comprend :

- une multitude de plates-formes (terrestres, maritimes ou aériennes), parfois de très faible encombrement, qui réalisent diverses mesures (température, pression...) et en diffusent les résultats par radio (sur 401,65 MHz);
- deux satellites météorologiques NOAA, héliosynchrones, qui reçoivent et retransmettent ces données ;
- trois stations de réception et deux centres de traitement (Toulouse et Largo, Etats-Unis) qui récupèrent les données et les distribuent aux utilisateurs. Principales applications : l'étude des océans (54 % des balises), le suivi d'animaux (17 %), la surveillance

d'équipements (6 %), l'hydrologie (6 %), la pêche (5 %), la météorologie (4 %), le suivi d'expéditions, les courses de voiliers, etc.
La précision de la localisation peut être d'environ 300 m et les deux tiers des résultats sont mis à la disposition des utilisateurs moins d'une heure après leur collecte par le satellite.
Le service est opérationnel depuis octobre 1978, grâce au lancement, depuis cette date, d'une douzaine de satellites successifs.
Depuis 1986, la société CLS en assure l'exploitation.
Au 1er janvier 1999, 6 000 balises, réparties sur le globe, utilisaient le système, au profit d'environ 300 organisations différentes dans le monde.
Un équipement de deuxième génération, Argos 2, plus performant, a été installé sur NOAA 15 lancé en mai 1998. La génération suivante, Argos 3, actuellement à l'étude, permettra - à partir de 2002/2003 - aux utilisateurs de « dialoguer » avec leurs balises.

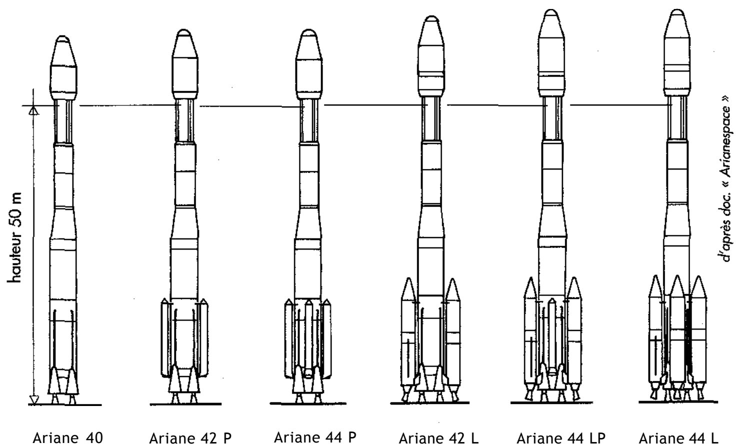
argument n.m. Quantité déterminée dont dépendent une équation, une inégalité ou un élément quelconque du mouvement d'un astre. *Argument (de latitude) du périhélie :* l'un des éléments orbitaux d'une planète ou d'une comète, égal à l'angle, compté dans le plan de l'orbite* de la planète ou de la comète, entre les directions, par rapport au Soleil, du point vernal et du périhélie de l'orbite.

Argyre Planitia. Grand bassin d'impact circulaire de 900 km de diamètre, dans l'hémisphère sud de Mars.

Ari. Abréviation de *Aries,* désignant la constellation du Bélier.

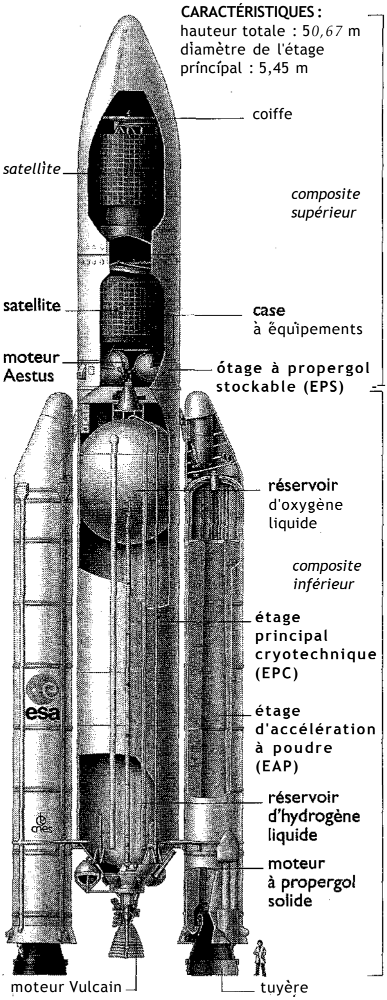
Ariane. Lanceur spatial européen.
ENCYCL. C'est sans doute parce qu'ils ont su tirer les leçons des échecs répétés du programme Europa* que les pays européens ont développé avec succès le lanceur Ariane.
HISTORIQUE. Réunis à Bruxelles, le 31 juillet 1973, pour une conférence spatiale européenne, les ministres des pays concernés acceptent la proposition française de développer un lanceur lourd de satellites se substituant au projet Europa III, à l'étude depuis deux ou trois ans. Ainsi naît le programme LIII-S (lanceur de 3e génération de substitution), ultérieurement rebaptisé Ariane.
Cette décision traduit la volonté européenne de se doter d'une capacité indépendante de lancement pour ses propres satellites scientifiques et d'applications, et de s'assurer une

Les six versions du lanceur **Ariane 4**



charge utile en orbite de transfert géostationnaire

Ariane 40	Ariane 42 P	Ariane 44 P	Ariane 42 L	Ariane 44 LP	Ariane 44 L
2 130kg	2 970kg	3 530 kg	3 560 kg	4310kg	4 900 kg



Ariane 5

part du marché international des lanceurs spatiaux.

Dix États européens (Allemagne, Belgique, Danemark, Espagne, France, Italie, Pays-Bas, Royaume-Uni, Suède et Suisse) participent au programme de développement du lanceur dont le coût (hors aléas techniques fixés à 20 %) est estimé à 2 060 millions de francs (aux conditions économiques de 1973). La France (63,8 %) et l'Allemagne (20,1 %) en financent la majeure partie. Plus de cinquante sociétés industrielles européennes sont impliquées.

DIFFÉRENTES VERSIONS. La conception d'Ariane est fondée sur une technologie qui a fait ses preuves en Europe. Les deux premiers étages sont équipés de moteurs à ergols stockâmes (UDMH et peroxyde d'azote) dont le développement avait atteint un stade avancé quand le nouveau lanceur fut décidé. La France et l'Allemagne avaient déjà acquis l'expérience de la propulsion cryotechnique, à hydrogène et oxygène liquides, utilisée pour le troisième étage.

Par la suite, pour faire face à la concurrence internationale, l'Agence spatiale européenne (ESA) décidera diverses améliorations (allongement des réservoirs et de la coiffe, utilisation de propulseurs d'appoint, etc.) dans le but d'accroître les performances du lanceur, ce qui conduira aux versions Ariane 2, 3 et 4. Le développement des différentes versions est réalisé par l'ESA qui en confie la maîtrise d'œuvre au CNES tandis qu'Aerospatiale est architecte industriel. L'ESA a confié à Arianespace (société créée en *1980) la* responsabilité de la production, des ventes et des lancements des exemplaires opérationnels dès leur qualification.

Ariane 4. C'est la version de base du lanceur Ariane. Ses trois étages contiennent respectivement 144, 34 et 8 t d'ergols. Hauteur : 47,7 m ; masse au décollage : 210 t ; performances en orbite de transfert géostationnaire (GTO) : 1 850 kg. Onze exemplaires lancés entre le 24 décembre 1979 (LOI) et le 22 février 1986 (V16). Deux échecs : L02 (23 mai 1980) etL05 (10 septembre 1982).

Ariane 1. Cette version dérive de la précédente par quelques modifications dont la principale est l'allongement du troisième étage (qui emporte 10,7 t d'ergols). Hauteur : 49 m ; masse au décollage : 220 t ; performances (GTO) : 2 175 kg. Six exemplaires lancés entre le 31 mai 1986 (VI8, seul échec) et le 2 avril 1989 (V30).

Ariane 3. C'est la version précédente flanquée de deux propulseurs d'appoint à poudre (PAP). Grâce au dispositif Sylda, elle peut emporter simultanément deux satellites de taille moyenne. Masse au décollage : 2401 ; performances (GTO) : 2 700 kg. Onze exemplaires lancés entre le 4 août 1984

(VIO) et le 12 juillet 1989 (V32). Un échec : VI5 (12 septembre 1985).

Ariane 4- Diverses modifications (allongement du premier étage qui emporte 226 t d'ergols, nouvelle case à équipements, structure SPELDA, coiffe de grand diamètre...) conduisent à cette version qui existe en six modèles différant les uns des autres par le nombre (0, 2 ou 4) et le type des propulseurs d'appoint ajoutés au premier étage.

La désignation du lanceur Ariane 4 est complétée par un chiffre qui indique le nombre de propulseurs et une lettre (L pour liquides ou P pour poudre) qui donne leur nature. Par exemple, Ariane 44LP désigne une version mixte à quatre propulseurs (deux à liquides et deux à poudre).

Cette diversification permet de proposer à la clientèle la version la plus économique et la mieux appropriée à ses besoins.

Hauteur : de 54,1 à 58,4 m selon la coiffe utilisée ; masse : de 243 t (Ariane 40) à 480 t (Ariane 44L) ; performances (GTO) : de 2 130 à 4 900 kg (soit l'équivalent de deux satellites lourds).

Premier lancement : 15 juin 1988. Au 31 décembre 1998, quatre-vingt-quatre exemplaires avaient été lancés (trois échecs : V36, te 22 février 1990 ; V63, le 24 janvier 1994 ; et V70, le 1er décembre 1994).

BILAN ET PERSPECTIVES. Au 31 décembre 1998, l'utilisation de cent quinze exemplaires du lanceur Ariane avait permis de placer sur orbite environ 160 satellites.

Ariane 5. Afin de s'adapter à l'évolution du marché du transport spatial, Arianespace utilise - depuis 1999 - un nouveau lanceur, Ariane 5. Sa mise en œuvre devrait se faire avec une période de recouvrement avec Ariane 4 d'environ trois ans.

Ariane 5 est d'une conception tout à fait nouvelle (il ne dérive pas des lanceurs précédents), dont le développement a été décidé par les ministres européens à La Haye, en novembre 1987.

Il est constitué :

- d'un composite inférieur, identique pour toutes les missions, comprenant un étage principal cryotechnique (diamètre : 5,4 m), contenant 158 t d'ergols et équipé du moteur Vulcain, et deux étages d'accélération à poudre latéraux (hauteur : 30 m, diamètre : **3 m,** masse unitaire : 270**1** dont 237 de poudre ; poussée unitaire maximale : 6 700 kN) ;
- d'un composite supérieur, dont la configuration varie selon la mission (lancement simple ou multiple), comprenant un étage supérieur à ergols stockables, la case à équipements, les adaptateurs des charges utiles et la coiffe (diamètre : 5,4 m).

Hauteur: 51,3 m; masse; environ 750 t; performances : de 5 900 kg (lancement double) à 6 800 kg (lancement simple) en orbite de transfert géostationnaire, de 19 à 20,5 t en orbite basse.

Trois vols de qualification ont été effectués : 501 (4 juin 1996, échec), 502 (30 octobre 1997, succès) et 503 (21 octobre 1998, succès). L'exploitation commerciale d'Ariane 5 a démarré en 1999.

L'ESA, le CNES et Arianespace préparent dès à présent une adaptation du lanceur Ariane 5 aux évolutions du marché de la prochaine décennie : les satellites de télécommunications géostationnaires constitueront toujours l'essentiel du marché, avec l'apparition d'une classe de gros satellites. Les différentes améliorations et modifications proposées pour adapter le lanceur et le faire évoluer sont les suivantes :

• **Perfo2000** : ce programme d'Arianespace a pour objectif l'augmentation des performances d'Ariane 5 en transfert géostationnaire d'environ 300 kg (de 5 970 kg à 6 300 kg) pour l'an 2000.

• **Ariane-5 Evolution** : ce programme, décidé à la réunion du Conseil de l'ESA de Toulouse en 1995, a pour objectif d'augmenter les performances d'Ariane 5 en transfert géostationnaire de 1 400 kg (de 5 970 kg à 7 400 kg) par augmentation de la performance du moteur Vulcain et l'allégement de certaines structures. Le premier vol est actuellement prévu pour la mi-2002.

• **Ariane-5 Plus** dont la première tranche, décidée lors du Conseil de l'ESA réuni à Bruxelles en juin 1998, a pour objectif le développement de deux versions améliorées d'Ariane 5 :

-Ariane-5V (versatile) qui utilisera le même étage inférieur que celui d'Ariane 5 Evolution ainsi qu'un étage à propergol stockable réallumable. Sa performance sera de 7 400 kg en orbite de transfert géostationnaire.

-Ariane-5C (cryotechnique) qui aura

un étage supérieur cryotechnique et réallumable. Dans un premier temps, le moteur HM7B d'Ariane 4 sera utilisé pour une capacité sur l'orbite de transfert géostationnaire portée à 91 en 2002 (l'étage non réallumable sera appelé ESC-A). Ensuite, *un nouveau* moteur cryotechnique à haute performance sera développé pour une performance dépassant 11 t en orbite de transfert géostationnaire en 2006 (l'étage ainsi réallumable et plus économique sera appelé ESC-B).

Arianespace. Société commerciale privée de transport spatial.
ENCYCL. Créée le 26 mars 1980 par 50 actionnaires (36 industriels européens des secteurs aérospatial et électronique, 13 banques et le Centre national d'études spatiales), elle assure le financement et la maîtrise d'œuvre de la production des lanceurs Ariane, la commercialisation du service de lancement et la conduite des opérations de lancement de ces fusées et, au travers de sa filiale S3R, la couverture des risques pendant la phase de lancement. Son capital social est de 2 088 millions de francs ; ses effectifs avoisinent 330 personnes. Elle détient plus de 50 % du marché mondial des lancements commerciaux à destination de l'orbite géostationnaire. Fin 1998, elle avait lancé depuis sa création 149 satellites, dont 132 de communications.

Ariel. Satellite d'Uranus (n° I) découvert en 1851 par le Britannique W. Lassell. Demi-grand axe de son orbite : 191 000 km. Période de révolution sidérale : 2,520 j. Diamètre : 1 160 km. Densité moyenne : 1,67.
ENCYCL. Sa surface a été photographiée en 1986 par la sonde Voyager 2, d'une distance de 130 000 km environ. Par rapport à celles des autres satellites d'Uranus, elle apparaît comme la plus brillante (son pouvoir réfléchissant atteint 40 %) et la plus jeune. Elle est grêlée de cratères de 5 à 10 km de diamètre, mais ceux de plus de 50 km y sont rares. On y observe un important réseau de vallées d'effondrement et de failles abruptes. Celles-ci pourraient s'être ouvertes sous l'effet de l'expansion de la *croûte glacée* du satellite. Les vallées les plus larges et les régions situées à leur intersection montrent un sol lisse, qui témoigne de dépôts plus récents. Ceux-ci correspondent peut-être à des épanchements de « magma » gelé provenant de l'intérieur. Ces dépôts eux-mêmes sont, par endroits, creusés de vallées sinueuses dont l'interprétation (failles ou coulées de glace) reste controversée.

Ariel. Satellites scientifiques britanniques lancés aux États-Unis par des fusées américaines de 1962 à 1979.
ENCYCL. On désigne souvent ces satellites par le sigle UK *(United Kingdom).* Six ont été lancés. Les quatre premiers eurent pour mission d'étudier l'ionosphère, les deux derniers furent consacrés à l'astronomie X*. Ariel 5, lancé en 1974, est l'un des premiers satellites ayant permis de cartographier les sources célestes de rayonnement X.

Aries (-etis) Nom latin de la constellation du Bélier (abrév. *Art).*

Ariétides. Essaim de météorites ou météores associés observables autour du 7 juin, dont le radiant se situe dans la constellation du Bélier.

Aristarque (de Samos), astronome grec (Samos *310-v. 230 av. J.-C.).*
Il fut le premier à tenter de déterminer, par des mesures astronomiques, le diamètre du Soleil et de la Lune et leur distance par rapport à la Terre. Malgré l'imprécision de ses mesures, il put ainsi établir que le Soleil était nettement plus volumineux que la Terre. Il émit alors l'hypothèse du mouvement de la Terre et des autres planètes autour du Soleil, dix-huit siècles avant Copernic*.

Aristarque. Cirque lunaire, dans l'océan des Tempêtes. Coordonnées : 23,6° N., 47,4° O. Diamètre : 45 km. Nom international : *Aristarchus.*
ENCYCL. Très lumineux (sa surface réfléchit environ 20 % de la lumière qu'elle reçoit, ce qui représente plus du double de l'albédo* moyen de la Lune), il est visible même lorsqu'il n'est éclairé qu'en lumière* cendrée. Tout autour s'étendent de nombreux rayons* brillants. Des remparts en terrasse surplombent de 3 km le fond de l'arène, dont le centre est occupé par un petit piton montagneux. À plusieurs reprises, des observateurs ont signalé l'appari-

tion temporaire de lueurs rougeâtres à l'aplomb de ce cratère : celles-ci résultent peut-être d'un dégazage des roches de la surface. — • **phénomène lunaire transitoire**

Armagh (observatoire d'). Observatoire fondé en 1790 à Armagh, en Irlande du Nord.
ENCYCL. J.L.E. Dreyer, qui en fut directeur de 1882 à 1916, y dressa son célèbre catalogue de nébuleuses, d'amas stellaires et de galaxies, intitulé *New General Catalogue of Nebulae and Clusters of Stars.* C'est à présent un établissement à caractère éducatif, doté d'un planétarium qui a été mis en service en 1968.

arme antisatellite. Dispositif capable de détruire ou de mettre hors de service des satellites en orbite.
ENCYCL. Les systèmes antisatellites se classent actuellement en fonction de leur type d'interception, par missile ou par satellite, et de leur méthode de destruction, par explosion nucléaire, par charge explosive classique à fragmentation ou par impact direct de l'intercepteur sur sa cible. Les armes à énergie dirigée - c'est-à-dire utilisant un faisceau d'énergie très intense étroitement focalisé et dirigé avec précision, sous forme de lumière (armes à laser) ou de particules atomiques se déplaçant à des vitesses proches de celle de la lumière (armes à faisceau de particules) - naguère envisagées dans l'IDS*, encore au stade de l'étude, appartiennent elles aussi à cette panoplie.

arme spatiale. Synonyme de arme antisatellite.

armillaire (sphère) **sphère armillaire**

Armstrong (Neil Alden), astronaute américain (Wapakoneta, Ohio, 1930).
Après des études d'ingénieur aéronautique, il devient pilote de l'aéronavale, puis pilote d'essais. Sélectionné dans le corps des astronautes de la NASA en 1962, il commande en 1966 la mission Gemini 8 au cours de laquelle est réalisé le premier amarrage de deux véhicules spatiaux. Son second vol dans l'espace, à bord du vaisseau Apollo 11, le conduit sur la Lune, dont il est le premier homme à fouler le sol, le 21 juillet 1969. Nommé responsable, en 1970, des activités aéronautiques de la NASA, il quitte cet organisme l'année suivante pour devenir professeur d'ingénierie à l'université de Cincinnati (1971-1979), puis poursuit sa carrière dans l'industrie privée.

Arrhenius (Svante), physicien et chimiste suédois (Wijk, près d'Uppsala, 1859 - Stockholm 1927).
Il développa en 1900 une théorie de la queue des comètes, fondée sur l'existence de la pression de rayonnement, émit l'hypothèse de la *yanspermie,* selon laquelle la vie pourrait se transmettre d'un astre à un autre par des germes microscopiques circulant dans l'espace, et élabora une théorie cosmogonique. Prix Nobel de chimie 1903.

arrimage n.m. Action d'arrimer, c'est-à-dire de fixer une charge utile à l'intérieur ou à l'extérieur d'un véhicule spatial. À distinguer *d'amarrage.*

Arsia Mons. L'un des grands volcans boucliers du plateau de Tharsis, sur Mars, Il a 350 km environ de diamètre et s'élève à 17 km au-dessus du plateau environnant.

Artemis. Satellite européen expérimental de télécommunications optiques par laser et de relais de données.
ENCYCL. Satellite de technologie de pointe, Artemis doit être lancé en 2000. Sa charge utile comprendra : un équipement de télécommunications optiques par faisceau laser (Silex), qui permettra l'échange de données avec des satellites gravitant en orbite basse autour de la Terre ; un équipement de démonstration de télécommunications du service mobile pour véhicules terrestres ; et un équipement de relais de données qui devait préfigurer le système DRS* de l'Agence spatiale européenne à présent abandonné.
La réception au sol des signaux laser du satellite s'effectuera à l'aide d'un télescope de 1 m de diamètre installé à l'observatoire du Teide, aux Canaries.

Artes 3. Programme de satellites de l'Agence spatiale européenne destinés à des liaisons multimédias à haut débit.

Aryabhata (du nom d'un astronome et mathématicien indien du Ve s.). Premier satellite de l'Inde, mis sur orbite le 19 avril 1975, par un lanceur soviétique, pour une mission d'astronomie. Il est tombé en panne quatre jours plus tard.

Arzachel -+ Zarqali (al-)

Arzachel. Cirque lunaire, de type plaine murée, au nord de Ptolémée* et d'Alphonse*. Coordonnées : 18° S., 2° O. Diamètre : 97 km.

ASAP. Microsatellites qui seront mis en orbite autour de Mars à partir de 2003, pour relayer les télécommunications avec la Terre.

ASAT (contraction de AntiSATellite). Abrév. usuelle de arme antisatellite.

ASCA (sigle de *Advanced Satellite for Cosmology and Astroyhysics,* satellite avancé pour la cosmologie et l'astrophysique). Autre nom du satellite japonais d'astronomie X Astro-D.

ascension droite. L'une des deux coordonnées équatoriales* permettant de repérer la position d'un point sur la sphère céleste.

ENCYCL. Analogue à la longitude sur la Terre, elle représente la distance angulaire de la projection d'un point du ciel considéré sur le plan de l'équateur céleste, comptée dans le sens direct à partir du point vernal, en heures, minutes et secondes. L'autre coordonnée équatoriale, analogue à la latitude, est la déclinaison.

Ascraeus Mons. L'un des grands volcans boucliers du plateau de Tharsis, sur Mars. Il a 250 km environ de diamètre et s'élève à 17 km au-dessus du plateau environnant.

ASI (sigle de *Agenzia Spaziale Italiana).* Agence spatiale italienne, créée en 1988. Son siège est à Rome.

Asiago (observatoire d'astrophysique d'). Observatoire fondé en 1940 sur une colline voisine du bourg d'Asiago, à 90 km au N. de Padoue, en Italie.

ENCYCL. Asiago constitue le principal centre d'observation du département d'astronomie de l'université de Padoue et de l'observatoire de Padoue. Il a été équipé d'abord d'un télescope de 1,22 m d'ouverture, mis en service en 1942, puis de deux télescopes de Schmidt : l'un de 50 cm, mis en service en 1958, l'autre de 60 cm, mis en service en 1968. À 12 km à l'est, sur le mont Ekar, plus propice à présent aux observations astronomiques, a été inauguré en 1973 un télescope de 1,82 m d'ouverture, dédié à Copernic, qui est le plus puissant télescope implanté en Italie.

Asimov (Isaac), écrivain américain d'origine russe (Petrovitchi, près de Smolensk, 1920-New York 1992).

Chimiste de formation, professeur de biochimie à l'université de Boston, à partir de 1951, durant une dizaine d'années, il a acquis la célébrité par une oeuvre abondante (quelque 400 ouvrages) d'auteur de science-fiction (notamment sa série des « Robots », de 1940 à 1976) et de vulgarisateur scientifique dans des domaines aussi variés que la biochimie, l'astronomie, la physique et les mathématiques.

ASLV (sigle de l'angl. *Augmented Satellite Launch Vehicle,* lanceur de satellite amélioré). Lanceur spatial indien utilisé de 1987 à 1994 (trois échecs en 1987, 1988 et 1992, une réussite en 1994).

ENCYCL. Haut de 23 m, pesant 41 t au décollage, ce lanceur possédait quatre étages et deux propulseurs d'appoint, tous à poudre. Il pouvait placer une masse de 150 kg sur une orbite circulaire, à 400 km d'altitude.

ASP. Sigle de *Astronomical Society of the Pacifie.*

assistance gravitationnelle. Technique consistant à utiliser l'attraction gravitationnelle exercée par un astre sur un engin spatial qui le survole à faible distance pour modifier la trajectoire de cet engin et lui fournir un complément de vitesse sans consommation de combustible.

ENCYCL. La technique d'assistance gravitationnelle a été envisagée dès 1950 par l'Italien Luigi Crocco, mais c'est l'Américain

d'origine italienne Gary Flandro qui, le premier, au cours des années 60, a calculé les trajectoires à assigner à des véhicules spatiaux pour qu'ils survolent les planètes extérieures du système solaire en utilisant cette technique. D'une façon générale, la déviation de la trajectoire de l'engin dépend de la masse de l'astre survolé, de l'altitude du survol et de la vitesse relative à laquelle il s'effectue, tandis que la modification de la vitesse du vaisseau spatial dépend de l'angle sous lequel il aborde l'astre. C'est grâce à la technique d'assistance gravitationnelle que la sonde Voyager* 2 a pu survoler successivement, après Jupiter (1979), Saturne (1981), Uranus (1986) et Neptune (1989). Cette technique a été également utilisée par les sondes Galileo*, Ulysse*, Cassini*, etc.

Association aéronautique et astronautique de France (AAAF). Association française sans but lucratif, reconnue d'utilité publique, résultant de l'union de l'Association française des ingénieurs et techniciens de l'aéronautique et de l'espace, fondée en 1944, et de la Société française d'astronautique, fondée en 1955.
ENCYCL. Elle publie la *Nouvelle Revue d'aéronautique et d'astronautique* ainsi que des *Notes techniques.*
Elle dispose de groupes régionaux à Béziers, Bordeaux, Cannes, Kourou, Marseille, Poitiers et Toulouse.
ADRESSE : 6, rue Galilée, 75782 Paris Cedex 16.

Association française d'astronomie (AFA). Association française d'astronomes amateurs, fondée en 1946. Elle publie la revue mensuelle *Ciel et Espace.*
ADRESSE : 17, rue Émile-Deutsch-de-La-Meurthe, 75014 Paris.

Association française d'observateurs d'étoiles variables (AFOEV). Principale association française d'observateurs d'étoiles variables, fondée en 1922.
SECRÉTARIAT : Observatoire du Champ-Aubé, 71140 Bourbon-Lancy.

association n.f. Groupe diffus d'étoiles jeunes ou en cours de formation, plongées dans la matière interstellaire dont elles sont issues.
ENCYCL. On distingue les associations O-B, constituées d'étoiles bleues très chaudes de types spectraux O et B, et les associations T, composées d'une majorité d'étoiles rouges des derniers types spectraux, parmi lesquelles des variables du type *T Tauri.* Une association typique rassemble d'une dizaine à une centaine d'étoiles, réparties sur plusieurs centaines d'années de lumière. Comme les amas ouverts, les associations se trouvent dans les bras spiraux de la Galaxie. Elles ont été découvertes au cours des années 1940 par V. Ambartsoumian, qui a montré qu'elles constituaient des systèmes dynamiquement instables, condamnés à se disperser sous l'effet de la rotation différentielle de la Galaxie.

Association nationale pour la protection du ciel nocturne. Association française, sans but lucratif, créée en 1998 pour lutter contre la pollution lumineuse du ciel nocturne et, plus généralement, contre toutes les atteintes à ^environnement susceptibles de contrarier les observations astronomiques.
ADRESSE : Société astronomique de France, 3 rue Beethoven, 75016 Paris.

Association of Universities for Research in Astronomy (AURA). Association constituée par une vingtaine d'universités des États-Unis, qui administre notamment le *National Optical Astronomy Ohservatories* et le *Space Telescope Science Institute.*

assurance spatiale. Assurance couvrant les sinistres spatiaux, en particulier les défaillances de fusées et de satellites.
ENCYCL. L'assurance spatiale a été créée à la fin des années *1960.* Le premier sinistre majeur indemnisé fut l'échec du lancement du satellite européen OTS par une fusée américaine Delta 3914 le 13 septembre 1977. Le satellite était couvert par une assurance de 29 millions de dollars et l'indemnisation du sinistre dépassa les primes d'assurance spatiale versées jusqu'à cette date. Jusqu'en 1990, les pertes annuelles de l'assurance spatiale dépassaient les primes encaissées. Depuis 1990, la tendance s'est inversée et les primes cumulées (5 837 millions de dollars)

dépassent les pertes (4 918 millions de dollars). L'année 1998 a été la plus mauvaise de l'histoire de l'assurance spatiale, avec un total de pertes proche de 1,8 million de dollars et qui représentait le double des primes perçues. Malgré cela, le bilan global reste encore positif. Alors qu'en 1994, précédente année « noire », les trois quarts des sinistres déclarés provenaient des lanceurs et le quart seulement des satellites, en 1998, ce sont les satellites qui ont été responsables des trois quarts des pertes déclarées. Par ailleurs, en 1994, les sinistres relevaient essentiellement des polices de lancement alors que, désormais, seuls un peu plus de la moitié relèvent de ces polices, les autres concernant soit la vie en orbite des satellites géostationnaires, soit le lancement et la vie en orbite des constellations* en orbites basses ou moyennes. Le taux des primes, qui représentait, en moyenne, en 1989, un peu plus de 20 % de la valeur des satellites, s'est ensuite stabilisé entre 16 et 18 %, puis a chuté brutalement à partir de 1996 et n'était plus que de 8,5 % à la fin de 1998. La capacité mondiale d'assurance disponible par lancement est passée de 110 millions de dollars en 1985 à 1,3 milliard de dollars en 1999.

astérisme n.m. Figure dessinée dans le ciel par un groupe d'étoiles brillantes et qui bénéficie généralement d'une appellation populaire mais ne constitue pas une constellation complète (par exemple, le Petit Chariot, le Grand Chariot, la Croix du Nord).

Astérix. Autre nom du premier satellite français, A1*.

astéroïde n.m. (de *asterfo]-* et *-oïde).* Petite planète dont les dimensions ne dépassent pas quelques centaines de kilomètres.
ENCYCL. Entre Mars, la dernière des planètes telluriques, et Jupiter, la première des géantes, s'étend une grande lacune qui partage en deux le système solaire.
Dans la seconde moitié du XVIIIe s., la découverte d'une relation numérique connue sous le nom de *loi de Titius-Bode,* qui donne empiriquement les distances relatives des planètes au Soleil, amena les astronomes à envisager la présence dans cette lacune d'une planète encore inconnue. C'est ainsi que se constitua, à l'instigation de J. Bode, directeur de l'observatoire de Berlin, et du baron von Zach, astronome amateur hongrois, un groupe d'observateurs dont l'objectif était de rechercher systématiquement la planète mystérieuse. Cette « police du ciel » fut pourtant devancée. En effet, le 1er janvier 1801, à Palerme, le P. Giuseppe Piazzi eut la surprise de découvrir dans la constellation du Taureau un astre ne figurant sur aucune carte et qui se révéla être une petite planète circulant à une distance moyenne de 414 millions de km du Soleil avec une période de révolution de 1 680 j. Mais cette petite planète, qui fut nommée Cérès, n'était pas unique. Bientôt, on découvrit successivement Pallas (1802), Junon (1804), Vesta (1807) etAstrée (1845).
Depuis 1848, il ne s'est pas passé d'année sans nouvelle découverte. Actuellement, on a identifié environ 18 000 astéroïdes. Parmi ceux-ci, plus de 10 000, dont on a pu déterminer l'orbite avec précision, ont reçu un nom, choisi par leur découvreur, et un numéro, qui correspond à leur ordre d'inscription dans le catalogue des astéroïdes.
Les autres, dont la trajectoire reste encore imparfaitement connue, sont désignés seulement par un nombre indiquant l'année de leur découverte et deux lettres exprimant la date de leur première observation.
ORBITES. La plupart des petites planètes se concentrent entre l'orbite de Mars et celle de Jupiter, à une distance moyenne du Soleil comprise entre 2,17 et 3,3 unités* astronomiques (ua). Mais, dans l'anneau ainsi formé, que i'on appelle la *ceinture principale d'astéroïdes,* certaines régions, dites « lacunes de Kirkwood », du nom de l'astronome américain qui les découvrit en 1866, apparaissent pratiquement vides parce qu'elles correspondent à des zones de résonance où l'attraction de Jupiter interdit aux astéroïdes de se maintenir. Ces lacunes s'observent notamment à des distances du Soleil de 2,50, 2,82, 2,96 et 3,28 ua, correspondant à des orbites telles que la durée de révolution des planètes qui les décriraient serait dans un rapport simple, respectivement 1/3, 2/5, 3/7 et 1/2, avec la période de révolution de Jupiter. On a mis en évidence des familles d'astéroïdes (identifiées par leur membre le plus anciennement découvert, par exemple Flora, Nysa, Eunomia, Thémis, Koronis,

Éos, etc.) décrivant pratiquement la même orbite et qui résultent vraisemblablement de la fragmentation d'un objet unique dont le diamètre pouvait atteindre 200 à 300 km.

Certains astéroïdes toutefois s'écartent notablement de la zone dans laquelle la plupart restent cantonnés. Leurs orbites très excentriques leur permettent de s'approcher périodiquement de la Terre, de Vénus, voire de Mercure. Parmi ceux qui peuvent ainsi frôler la Terre (*Earth-Grazers* ou *Earth-Grazing Asteroids,* en abrégé *EGA* ; ou *Near Earth Asteroids,* en abrégé *NEA ;* ou *géocroiseurs*) figurent notamment Éros*, Icare* et Hermès*. Certains objets de cette catégorie offrent même la particularité de circuler à l'intérieur de l'orbite terrestre et ainsi d'avoir une période de révolution inférieure à celle de notre planète.

Les planètes troyennes* constituent d'autres spécimens particuliers de petites planètes évoluant en dehors de la ceinture principale d'astéroïdes.

Par ailleurs, il ne fait plus guère de doute que les deux petits satellites de Mars, Phobos et Deimos, sont d'anciens astéroïdes ayant été capturés par une réaction de gravitation. On a avancé la même hypothèse pour les satellites extérieurs de Jupiter, Phoebé dans le système de Saturne et Néréide dans celui de Neptune.

Enfin, il existe des astéroïdes très éloignés du Soleil. Depuis 1992, on en a découvert des dizaines qui gravitent à des distances du Soleil comprises entre 30 et 45 ua. Cela semble confirmer la présence, suggérée dès 1951 par l'Américain G. Kuiper, d'un anneau de petits corps placés au-delà de l'orbite de Neptune. **ceinture de Kuiper**

MASSES ET DIMENSIONS. On peut espérer déduire la masse d'une petite planète des perturbations gravitationnelles qu'elle inflige au mouvement d'une autre. En fait, ces perturbations sont en général trop faibles pour être mesurables, et la méthode n'a pu être appliquée qu'aux trois principaux astéroïdes : Cérès, Pallas et Vesta. Pour les autres, il est nécessaire de connaître leur diamètre et d'estimer la valeur de leur densité moyenne avant de pouvoir évaluer leur masse.

La plupart des astéroïdes apparaissent ponctuels dans les instruments d'observation et seuls les plus gros offrent un diamètre apparent suffisant pour que l'on ait pu évaluer directement leur diamètre réel. Cependant, depuis 1970, deux nouvelles techniques, indirectes, ont été utilisées avec succès. Elles font intervenir chacune l'albédo, illustrant le fait qu'on peut déterminer le diamètre approximatif d'un astéroïde (supposé sphérique), si l'on connaît son éclat, sa distance et son albédo. La première consiste à mesurer la polarisation de la lumière réfléchie par l'astéroïde sous différents angles de phase ; l'analyse de météorites au laboratoire a montré, en effet, que cette polarisation est fonction du.pouvoir réflecteur de la surface : elle est d'autant plus marquée que la surface est plus sombre, autrement dit que l'albédo est plus faible. La seconde technique est fondée sur la mesure de l'éclat de l'astéroïde dans le visible et dans l'infrarouge, qui permet de comparer la quantité de rayonnement solaire incident réfléchie par l'objet à celle qu'il absorbe et réémet sous forme de chaleur.

Une autre méthode de mesure indirecte des dimensions des astéroïdes est plus rarement applicable mais donne les résultats les plus précis. Elle tire parti du fait que, dans leur déplacement sur la sphère céleste, les astéroïdes passent parfois devant une étoile, provoquant son occultation. La largeur de l'ombre de l'astéroïde, qui balaie alors la surface de la Terre, révèle le diamètre du corps selon une direction ; le produit de la durée de l'occultation par la vitesse de l'ombre sur la Terre donne le diamètre selon la direction perpendiculaire.

Cérès, Pallas et Vesta ont respectivement 930, 520 et 500 km de diamètre. À eux trois, ils renferment la moitié de la masse totale de la ceinture principale (qui est 50 000 fois inférieure à la masse de la Terre). Un millier d'astéroïdes ont un diamètre supérieur à 30 km ; plus de 200, un diamètre supérieur à 100 km. On estime qu'il en existe environ un million d'un diamètre supérieur ou égal à 1 km.

En fait, la plupart des astéroïdes ont une forme irrégulière, que révèlent leurs fluctuations périodiques d'éclat. Les corps les plus petits sont les plus irréguliers et ceux qui tournent le plus rapidement sur eux-mêmes. Des observations au radar ont révélé la forme particulièrement curieuse de l'asté-

roïde 4769 Castalia, découvert en 1989 : celui-ci semble être composé de deux lobes adjacents, ce qui suggère qu'il a été formé lors d'une collision entre deux objets lents.

COMPOSITION CHIMIQUE. De nombreuses techniques (photométrie, polarimétrie, spectrographie, radiométrie infrarouge, etc.) sont mises en œuvre pour déterminer la composition chimique des astéroïdes. Ces mesures ont permis, depuis les années 1970, de distinguer une quinzaine de variétés d'astéroïdes, d'après leurs propriétés spectrales et de réflectivité. Les trois principaux types sont respectivement désignés par les lettres C (carboné), S (silicaté) et M (métallique). Les astéroïdes de type C (75 % environ du total) sont très sombres (albédo voisin de 5 % seulement) et absorbent fortement le rayonnement ultraviolet ; ceux de type S (15 %) ont un albédo moyen et absorbent fortement la lumière bleue et les ultraviolets ; ceux de type M (15 %) sont ceux qui réfléchissent le mieux la lumière et dont la surface est la plus brillante. Les différentes variétés d'astéroïdes peuvent être regroupées en trois grandes catégories : les astéroïdes primitifs, très sombres, riches en carbone et en éléments volatils, qui prédominent dans la région de la ceinture principale la plus éloignée du Soleil ; les astéroïdes métamorphiques, moins riches en éléments volatils, qui ont apparemment été chauffés, surtout présents dans la région centrale de la ceinture principale ; et les astéroïdes ignés, qui rassemblent des assemblages minéraux complexes résultant d'une fusion et que l'on rencontre surtout dans la région de la ceinture principale la plus proche du Soleil.

ORIGINE. L'Allemand W. Olbers avait, au XIXe siècle, émis l'hypothèse que les astéroïdes sont les débris d'une planète importante qui aurait explosé après sa formation pour des raisons inconnues. On sait à présent que leur masse totale représente moins du millième de celle de la Terre, et cette théorie a été abandonnée. Les découvertes récentes incitent à considérer les astéroïdes comme des vestiges du système solaire primitif. L'évolution du type d'astéroïdes prédominant selon la distance au Soleil vient conforter cette hypothèse. Au même titre que les noyaux de comètes*, les astéroïdes seraient des descendants directs des petits corps, appelés planétésimaux, dont la croissance a, pense-t-on, donné naissance aux planètes du système solaire. Si l'origine de la ceinture principale d'astéroïdes est encore loin d'être comprise dans le détail, il semble que ce sont principalement les fortes perturbations gravitationnelles engendrées par Jupiter qui ont empêché l'agrégation des planétésimaux en un seul corps planétaire dans cette zone. Ces perturbations les ont en effet accéléré sur des orbites plus excentriques, rendant leurs rencontres beaucoup plus fréquentes et plus destructrices. Par la suite, elles ont pu structurer profondément la ceinture principale, en y créant des lacunes ou des zones de forte concentration. Aujourd'hui, elles se manifestent encore et seraient la principale explication des astéroïdes dont l'orbite passe près de celle de la Terre.

EXPLORATION SPATIALE. La parenté des astéroïdes et des comètes et la nécessité d'une meilleure connaissance de ces petits corps pour retracer l'histoire primitive du système solaire expliquent l'intérêt porté aujourd'hui à ces objets. Leur étude rapprochée a commencé avec la sonde américaine Galileo. En suivant une trajectoire complexe pour atteindre Jupiter, celle-ci a survolé en 1991 l'astéroïde Gaspra*, puis en 1993 l'astéroïde Ida* (auquel elle a découvert un minuscule satellite, Dactyle*). Des projets de missions spatiales vers d'autres astéroïdes existent dans les différentes agences spatiales du monde. Aux États-Unis, la NASA a lancé en 1997 la sonde NEAR *(Near Earth Asteroid Rendezvous),* qui a survolé l'astéroïde Mathilde et doit se mettre en orbite autour d'Éros* en 2000. L'Agence spatiale européenne inclura le survol d'un ou deux astéroïdes dans la mission de sa sonde cométaire Rosetta*. L'Agence spatiale italienne envisage aussi le survol d'un astéroïde proche de la Terre à l'aide d'une sonde nommée Piazzi. Le projet le plus ambitieux est toutefois celui de l'Institut japonais des sciences spatiales et astronautiques : il envisage le lancement en 2002 d'une sonde qui se satelliserait l'année suivante autour de la petite planète Néréus, puis s'y poserait, prélèverait des échantillons à sa surface et les rapporterait sur la Terre.

astérosismologie n.f. Étude des vibrations des étoiles, SYN : *sismologie stellaire.*
ENCYCL. Certaines étoiles particulières, comme les céphéides*, les RRLyrae* et les δ Scuti*, sont connues depuis longtemps pour être des étoiles dont la luminosité varie avec régularité, de façon parfois spectaculaire, selon une période de quelques heures à quelques jours. On sait aujourd'hui que leurs variations d'éclat résultent de variations de leur rayon : ces étoiles se dilatent et se contractent alternativement, comme un ballon qui se gonflerait et se dégonflerait.
Au cours des années 1970, on a découvert que le Soleil lui-même vibre. Ses vibrations sont beaucoup plus rapides et plus complexes, et, surtout, ont des amplitudes bien plus faibles. Leur étude a donné naissance à une nouvelle discipline, l'héliosismologie*.
Les études théoriques montrent que de nombreuses étoiles doivent être animées de vibrations similaires à celles du Soleil. L'astérosismologie a pour objet de détecter et de mesurer ces vibrations. Celles-ci sont en général très complexes.

INFORMATIONS ATTENDUES. On attend de la détection systématique des vibrations stellaires des informations précieuses sur la structure des étoiles, leur masse, leur âge, leur rotation et leur champ magnétique. En effet, ces vibrations prennent naissance au cœur des étoiles et leurs répercussions dans les zones superficielles, seules accessibles à l'observation directe, dépendent de la structure des régions que les vibrations ont traversées au cours de leur propagation (régions plus ou moins profondes selon le type et la fréquence des ondes).
L'observation des amplitudes et des fréquences des vibrations représente notamment un moyen de tester la validité des modèles théoriques de structure stellaire.

astigmatisme n.m. Aberration géométrique que peut présenter un objectif et qui se manifeste, sur l'image que donne cet objectif, par une différence de netteté entre les lignes horizontales et les lignes verticales. L'astigmatisme nuit à la qualité des images de points situés loin de l'axe optique.

ASTP (sigle de *Apollo Soyuz Test Project).* Première et unique mission spatiale commune entre les États-Unis et l'URSS, qui permit de tester la compatibilité des systèmes de rendez-vous et d'amarrage spatial des deux pays en vue d'éventuelles opérations de sauvetage dans l'espace.
ENCYCL. Le 17 juillet 1975, un vaisseau Apollo (avec T. Stafford, V. Brand et D. Slayton) et un vaisseau Soyouz (avec A. Leonov et V. Kubasov) se rejoignirent en orbite terrestre (à 225 km d'altitude), puis réalisèrent deux jonctions suivies de transferts d'équipage d'un engin à l'autre.

Astra. Satellites luxembourgeois de télédiffusion directe de puissance moyenne. Le premier, Astra 1A, a été lancé en 1988 lors du 1er vol commercial de la fusée Ariane.

Astraea. Astéroïde 5, découvert par l'Allemand K.H. Hencke en 1845. Diamètre : 125 km.

astre n.m. Tout corps céleste naturel : planète, comète, étoile, galaxie, etc.

Astrée. Nom français de l'astéroïde Astraea*.

Astro. Satellites japonais d'astronomie X. Ces satellites sont rebaptisés après leur mise en orbite : Astro-B, lancé en 1983, a été appelé Tenma (Pégase) ; Astro-C, opérationnel de 1987 à 1991, Ginga (galaxie); et Astro-D, lancé en 1993, Asuka (oiseau volant).

astrobiologie n.f. Synonyme de exobiologie.

astroblème n.m. (du grec *astêr, -eros,* astre, et *blêma,* blessure, coup). Cratère d'impact météoritique fossile.

astrographe n.m. Instrument destiné principalement à photographier des champs stellaires, plus particulièrement en vue de déterminer les coordonnées des astres qu'ils renferment. Un modèle d'astrographe a été construit en série pour l'établissement de la Carte* du ciel ; il équipait tous les observatoires participant à cette entreprise internationale.

astrolabe n.m. 1. Instrument utilisé dans l'Antiquité et au Moyen Âge pour simplifier les calculs d'astronomie et la détermination de l'heure. **2.** Instrument d'astrométrie servant à déterminer l'instant du passage d'une étoile à une hauteur déterminée, généralement 60°, au-dessus de l'horizon.

ENCYCL. L'astrolabe a été inventé par les Grecs et perfectionné dans le monde islamique. Il fournit une représentation du ciel en projection stéréographique pour une latitude donnée. Le plus ancien astrolabe conservé jusqu'à nos jours est islamique. Fabriqué en 927-928, il est conservé au musée national du Koweït.

L'astrolabe à prisme, conçu et réalisé au début du XXe s. par les Français Claude et Driancourt, est un appareil portatif destiné à la détermination de la latitude et de l'heure sidérale. A. Danjon l'a perfectionné en astrolabe impersonnel, insensible aux erreurs introduites par l'observateur lui-même. L'astrolabe impersonnel est un instrument d'observatoire, utilisé à poste fixe. Il permet de déterminer la latitude à environ 0,05" près.

astrométrie n.f. Branche de l'astronomie ayant pour objet la mesure de la position des astres et la détermination de leurs mouvements, SYN. ANCIEN : *astronomie de position.*

astrométriste n. Spécialiste d'astrométrie.

astromobile n.m. Véhicule conçu pour les déplacements à la surface d'autres astres que la Terre.

astronaute n.m. ou f. Occupant d'un vaisseau spatial selon l'appellation américaine. SYN : *spationaute.* L'Agence spatiale européenne utilise également ce terme pour désigner les hommes et les femmes en formation dans ses centres.

ENCYCL. Depuis 1981, le seul moyen utilisé aux États-Unis pour accéder à l'espace est la navette spatiale. Chaque équipage, composé de cinq à huit membres le plus souvent, peut comprendre trois catégories d'astronautes :

- les pilotes, qui remplissent les fonctions de commandant de bord et de pilote de l'orbiteur. Durant le vol, le commandant est responsable du véhicule, de l'équipage et du déroulement de la mission. Le pilote l'assiste ;
- les spécialistes de mission, qui coordonnent les opérations concernant les expériences pour un vol donné. Ils participent aux éventuelles sorties extravéhiculaires ;
- les spécialistes de charge utile, qui n'appartiennent pas nécessairement à la NASA et peuvent être de nationalité étrangère. Ce sont généralement des ingénieurs ou des scientifiques spécialement formés pour conduire, en orbite, un programme expérimental particulier.

Le premier astronaute américain, Alan B. Shepard, effectua son vol suborbital le 5 mai 1961, trois semaines après la révolution historique du premier cosmonaute soviétique (Gagarine).

De 1961 à 1974, les États-Unis réalisèrent quatre grands programmes de vols habités (Mercury, Gemini, Apollo et Skylab) et mirent sur orbite une quarantaine d'astronautes, tous américains.

En dix-huit années (avril 1981-avril 1999) et quatre-vingt-quatorze lancements (dont un échec, Challenger, le 28 janvier 1986), les cinq orbiteurs de la navette spatiale ont transporté plus de 200 astronautes différents (dont 15 % de femmes), originaires d'une douzaine de pays.

À la fin de 1998, la NASA entraînait environ 150 astronautes. **cosmonaute, vols habités**

astronautique n.f. Science de la navigation dans l'espace. Mot créé en 1927 par l'écrivain français Joseph Henri Rosny, dit Rosny aîné. SYN : *spationautique, cosmonautique*

astronome n. Spécialiste d'astronomie.

ENCYCL. La profession d'astronome exige une solide formation en physique et en mathématiques. D'une façon générale, les postes sont peu nombreux. On ne compte que quelques centaines d'astronomes professionnels en France, et quelques milliers dans le monde. Les astronomes amateurs* sont beaucoup plus nombreux.

Astronome Royal. Titre décerné par le souverain de Grande-Bretagne à un astronome de ce pays et qui, jusqu'en 1972, était lié à la fonction de directeur de l'observatoire royal de Greenwich*.

ENCYCL. Depuis la fondation de l'observatoire de Greenwich, 15 astronomes royaux se sont succédé : J. Flamsteed (1675-1719), E. Halley (1720-1742), J. Bradley (1742-1762), N. Bliss (1762-1764), N. Maskelyne (1765-1811), J. Pond (1811-1835), G.B. Airy (1835-1881), W. Christie (1881-1910), F.W. Dyson (1910-1933), H. Spencer Jones (1933-1955), R. Wolley (1956-1971), M. Ryle (1972-1982), F. Graham-Smith (1982-1990), A. Wolfendale (1991-1994), M. Rees (depuis 1995). Les quatre derniers n'ont pas été directeurs de l'observatoire de Greenwich.

Astronomia nova. Ouvrage de J. Kepler, publié en 1609, qui renferme ses deux premières lois du mouvement des planètes. → **Kepler (lois de)**

Astronomical Almanac. Almanach annuel publié conjointement, depuis 1981, par le *United States Naval Observatory* et le *Royal Greenwich Observatory.* Destiné principalement aux astronomes professionnels, il a remplacé l'*American Ephemeris and Nautical Almanac* et *[Astronomical Ephemeris.*

Astronomical Journal (AJ). Revue fondée aux États-Unis en 1849 par B.A. Gould et publiée à l'initiative de l'*American* Astronomical Society* pour la diffusion de résultats de recherches en astronomie.

Astronomical Society of the Pacific (ASP). Association américaine d'astronomes professionnels ou amateurs fondée en 1889 par E. Holden, premier directeur de l'observatoire Lick. Elle publie la revue de vulgarisation *Mercury.*

ADRESSE : 390 Ashton Avenue, San Francisco, CA 94112, USA.

astronomie n.f. (du grec *astron,* astre, et *nomos,* loi). Science qui étudie les positions relatives, les mouvements, la structure et l'évolution des astres.

ENCYCL. Elle étudie principalement :

- les planètes et leurs satellites, leur mouvement, leurs dimensions, leur structure, leur environnement, leur formation et leur évolution ;
- le Soleil, sa structure, les différents phénomènes qui affectent ses couches observables, le cycle de son activité ;
- le milieu interplanétaire, ses constituants solides de toutes tailles (depuis les poussières impalpables jusqu'aux astéroïdes), sa composante gazeuse (vent solaire) et les comètes à l'aspect diffus, dont les apparitions ont toujours beaucoup frappé l'humanité ;
- les étoiles, leurs différentes propriétés physiques, leur formation, leur évolution, leur groupement éventuel en étoiles multiples ou en amas ;
- les nébuleuses, brillantes ou obscures, manifestations d'une matière interstellaire extrêmement ténue, mais dont la masse totale est néanmoins considérable ;
- la Galaxie, immense agglomération dynamique d'étoiles, de gaz et de poussières à laquelle appartient le système solaire ;
- les galaxies, qui constituent la population de l'Univers et que des instruments puissants permettent de dénombrer par centaines de millions. Un large éventail de disciplines concourent aujourd'hui à l'étude de l'Univers.

L'ASTRONOMIE FONDAMENTALE. La branche la plus ancienne de l'astronomie est l'astronomie de position, ou astrométrie, dont l'objet est la détermination des positions et des mouvements des astres. C'est à eËe qu'incombe, notamment, l'établissement de catalogues d'étoiles. L'existence des mouvements propres des étoiles et la nécessité pour les astronomes de disposer de mesures de plus en plus précises font de l'établissement des catalogues stellaires un travail permanent. Mais l'astrométrie s'occupe également de l'étude du mouvement relatif des étoiles doubles - d'où se déduit la masse de ces objets - et de la mesure des parallaxes, qui permet de déterminer la distance des étoiles proches ; plus généralement, elle commande les recherches concernant la cinématique et la dynamique de notre Galaxie et des autres galaxies. Il lui appartient aussi d'établir l'échelle astronomique de temps. Pratiquement, on peut dire que toutes les connaissances sur la forme et le mouvement de la Terre, sur les mouvements du système so-

laire et de notre Galaxie, sur l'échelle et l'évolution de l'Univers dépendent étroitement des mesures astrométriques.
intimement liée à l'astrométrie, la mécanique céleste traite des lois régissant les mouvements des astres. Les calculs d'orbites relèvent de son domaine, ainsi que l'établissement des annuaires astronomiques et des éphémérides (tables fournissant des données numériques - quotidiennes ou autres - sur la position du Soleil, de la Lune, des planètes, etc.). Depuis l'avènement de l'astronautique, la mécanique céleste trouve une nouvelle application avec le calcul des trajectoires des satellites artificiels et des sondes interplanétaires.
Astrométrie et mécanique céleste constituent ensemble ce qu'on appelle l'astronomie fondamentale.

À ce domaine peuvent être rattachées la cosmogonie, qui étudie la formation et l'évolution des corps célestes particuliers, et la cosmologie, qui cherche à rendre compte de la structure et de l'évolution de l'Univers considéré dans son ensemble. Voisine à certains égards de l'astrophysique, l'astrochimie s'intéresse à la chimie de l'espace extraterrestre. La mise en évidence de nombreuses molécules dans le milieu interstellaire a constitué l'un des facteurs importants de son développement. La bioastronomie s'efforce, pour sa part, de répondre aux questions concernant les possibilités d'existence de la vie dans le cosmos. En fait, l'Univers constitue le plus prodigieux laboratoire dont puisse rêver le chercheur. Des températures les plus hautes aux températures les plus basses, des milieux les plus denses aux milieux les plus raréfiés, des systèmes les plus massifs aux systèmes les plus ténus, la matière s'y trouve soumise aux conditions les plus diverses, donnant au scientifique le loisir d'étudier une gamme extraordinairement variée de phénomènes, dont l'interprétation requiert une approche interdisciplinaire. Ainsi l'astronomie apparaît-elle désormais comme un carrefour où viennent se confronter et s'enrichir mutuellement la plupart des disciplines scientifiques.

astronomie spatiale. Ensemble des activités de l'astronomie qui mettent en œuvre des systèmes spatiaux.

ENCYCL. L'astronomie spatiale utilise des ballons stratosphériques, des fusées, des satellites et des sondes automatiques. Grâce aux satellites, qui gravitent au-dessus de l'atmosphère terrestre, il est possible d'étudier l'Univers sur l'ensemble du spectre électromagnétique. Néanmoins, compte tenu du coût de l'instrumentation qu'ils emportent, on réserve leur emploi aux observations difficiles ou impossibles à réaliser du sol, concernant des astres dont le rayonnement est arrêté par l'atmosphère terrestre (sources de rayonnements y, X, ultraviolet et infrarouge lointain). Les sondes spatiales permettent l'étude *in situ* de la Lune, des planètes, des comètes et du milieu interplanétaire.

L'étude systématique du ciel dans l'ultraviolet a débuté en 1968 avec l'observatoire orbital américain OAO 2 ; son étude dans le domaine des rayons X en 1970 avec un autre engin américain, SAS 1 (ou Uhuru) ; et son étude dans le domaine des rayons y en 1972 avec le satellite SAS 2. À la moisson de découvertes qui en a résulté sont venus s'ajouter, depuis, les résultats obtenus grâce à plusieurs dizaines d'autres satellites, parmi lesquels des engins américains comme OAO 3 (ou Copernicus), SAS 3 et les satellites de la série HEAO *(High Energy Astronomy Observatory)* [HEAO 2, en particulier, rebaptisé observatoire Einstein après son lancement, en 1978, a marqué l'avènement d'une nouvelle génération de télescopes pour l'étude des sources célestes de rayonnement X], certains satellites soviétiques du type Cosmos, les satellites européens COS-B (1975-1982) et Exosat (1983-1986), le satellite international IUE* *(international Ultraviolet Explorer)* qui a permis des avancées considérables dans le domaine de l'astronomie ultraviolette et bénéficié d'une exceptionnelle longévité (1978-1996), etc. Tous ces engins ont apporté une contribution fondamentale à la connaissance d'astres (quasars, galaxies actives...) ou de phénomènes (explosions de supernovae, accrétion de matière par certaines étoiles...) libérant des quantités fantastiques d'énergie. Plus récemment, en 1983, le satellite IRAS* *(Infra-Red Astronomy Satellite)*, fruit d'une coopération tripartite entre les Pays-Bas, les États-Unis et le Royaume-Uni, a permis la première cartographie complète

du ciel dans l'infrarouge, autorisant, entre autres, de grands progrès dans l'étude du milieu interstellaire et des étoiles en formation, qui ont été poursuivis par le satellite européen ISO. Cet essor plus tardif de l'astronomie spatiale infrarouge tient à la difficulté de mise en œuvre de détecteurs appropriés qui, pour être performants, doivent être refroidis à très basse température.

Depuis le début des années 90, l'astronomie bénéficie aussi de la moisson de découvertes à l'actif du télescope spatial Hubble* (domaines optique et infrarouge) et de l'observatoire Compton* (domaine gamma).

Astronomische Gesellschaft. Société d'astronomie allemande, regroupant des astronomes professionnels. Elle est, notamment, à l'origine des catalogues stellaires désignés sous le sigle AGK*.

Astronomy and Astrophysics. Revue européenne fondée en 1968 pour la publication de résultats de recherches en astronomie et en astrophysique.

astrophotographe n. Personne qui pratique l'astrophotographie.

astrophotographie n.f. Photographie des astres.

ENCYCL. La photographie est l'une des techniques qui ont permis l'essor de l'astrophysique*. Son application à l'astronomie, conjuguée à celles de la photométrie* et de l'analyse spectrale (-> **spectre),** a été à l'origine d'une véritable révolution dans l'étude de l'Univers. Bien que la plaque photographique soit beaucoup moins sensible que l'œil, elle présente sur celui-ci un avantage très important, celui d'accumuler la lumière qu'elle reçoit avec la durée de la pose : elle permet ainsi d'enregistrer l'image d'objets très peu lumineux, imperceptibles à l'œil, comme des étoiles*, des nébuleuses* ou des galaxies*, la limite étant imposée par la luminosité du fond du ciel qui finit par impressionner la plaque. Par ailleurs, les enregistrements photographiques constituent des documents objectifs, susceptibles d'être ultérieurement analysés, mesurés et comparés.

LES DÉBUTS. La première photographie d'un objet céleste fut un daguerréotype de la Lune obtenu en mars 1840, avec vingt minutes de pose, au foyer d'un télescope de 13 cm d'ouverture, par l'Américain J.W. Draper. Puis, le 7 décembre 1845, à l'Observatoire de Paris, A. Fizeau et L. Foucault réalisèrent le premier daguerréotype réussi du Soleil. Enfin, dans la nuit du 16 au 17 juillet 1850, l'astronome américain W.C. Bond et son compatriote le photographe J.A. Whipple, à l'aide de la grande lunette de 38 cm d'ouverture de l'observatoire du collège Harvard, prirent, avec une pose de 100 secondes, la première photographie montrant des étoiles : Véga et Castor. Avec le même instrument, ils recueillirent aussi, la même année, de bonnes images de la Lune.

Ce n'est toutefois qu'après l'invention, en 1871, de l'émulsion au gélatinobromure d'argent que la plaque photographique commença à présenter une sensibilité suffisante pour concurrencer, puis supplanter l'observation visuelle des étoiles.

L'ESSOR DE LA SPECTROGRAPHIE. On doit à deux astronomes amateurs, l'Américain H. Draper et l'Anglais W. Huggins, les premières tentatives visant à appliquer la photographie à la spectroscopie astronomique. Ils obtinrent au cours des années 1870 les premières photographies de spectres stellaires. Puis Huggins réussit à photographier pour la première fois, en 1881, le spectre d'une comète et, en 1882, celui d'une nébuleuse (M42 d'Orion).

Au début du xxe siècle, la mise en service de grands instruments d'observation astronomique conjuguée à l'emploi systématique de la photographie a permis de reculer les frontières de l'Univers observé. C'est en parvenant à photographier des étoiles dans la « nébuleuse » d'Andromède que l'Américain E. Hubble a pu établir, en 1924, l'existence de galaxies extérieures à la nôtre. Puis la photographie a permis l'exploration du monde des galaxies, et leur étude spectrographique a conduit à mettre en évidence l'expansion de l'Univers.

L'IMAGERIE ÉLECTRONIQUE. Malgré sa très grande capacité de stockage d'éléments d'information, la plaque photographique souffre d'un défaut majeur : sa faible sensibilité ; il faut, en moyenne, au moins 100 photons pour

noircir un grain d'émulsion de bromure d'argent. C'est ce qui a conduit à la mise au point de dispositifs d'imagerie électronique beaucoup plus efficaces pour coEecter la lumière : le premier a été la caméra* électronique, les plus récents sont les dispositifs à transfert de charge, ou CCD* *(Charge Coupied Devices).*

Astrophysical Journal (Ap J). L'une des revues les plus réputées à l'échelle internationale pour la publication de résultats de recherches en astronomie et en astrophysique, fondée en 1895 par George Ellery Haie et publiée par *The University of Chicago Press* pour le compte de *Y American* Astronomkal Society.*

astrophysique n.f. Branche de l'astronomie qui étudie la physique et l'évolution des diverses composantes de l'Univers.
ENCYCL. On distingue souvent l'astrophysique des hautes énergies (étude des rayonnements *y*, X et ultraviolet) et celle des basses énergies (études des rayonnements visible, infrarouge et radio). L'astrophysique s'est beaucoup développée depuis 1945 grâce à la radioastronomie* et, depuis 1957, grâce aux observations spatiales. La radioastronomie a permis de découvrir les quasars*, les molécules interstellaires, le rayonnement* cosmologique à 3 K, les pulsars* et de mettre en évidence la structure spirale de la Galaxie. L'astronomie infrarouge* montre les étoiles en formation dans le milieu interstellaire. Les observations en ultraviolet* ont révélé l'importance des phénomènes de vents stellaires et des échanges de masse qui s'établissent entre les étoiles chaudes et le milieu interstellaire et leur impact sur l'évolution générale des galaxies. Les observations dans le domaine des rayons X* révèlent l'existence d'étoiles effondrées (pulsars, trous noirs) capturant la matière d'étoiles voisines, ou de galaxies actives dont le noyau est le siège de phénomènes cataclysmiques. Enfin, le rayonnement gamma* constitue un traceur de la matière interstellaire et révèle aussi la présence d'étoiles effondrées.

→ gamma (astronomie), infrarouge (astronomie), radioastronomie, ultraviolet violet (astronomie dans I'), X (astronomie)

astrophysique des particules. Domaine de la science à l'interface entre l'astrophysique et la physique des particules, qui s'appuie sur les compétences théoriques et observationnelles des deux disciplines.
ENCYCL. Les recherches de l'astrophysique des particules (appelée aussi, sous une forme abrégée, *astroparticules)* concernent essentiellement l'étude du rayonnement* cosmologique à 2,7 K, l'identification de la matière* noire, la détection de supernovae*, la détection des ondes* gravitationnelles, l'étude des sources de rayonnement cosmique*, l'existence éventuelle d'antimatière* dans l'Univers, les neutrinos* solaires et l'étude des réactions nucléaires qui régissent l'activité des étoiles.

Atelier du Sculpteur Sculpteur

Aten. Astéroïde 2062, découvert en 1976 par l'Américaine E. Helin à l'observatoire du mont Palomar, prototype d'un groupe de petites planètes qui circulent essentieEement à l'intérieur de l'orbite terrestre, le demi-grand axe de leur orbite étant inférieur à la distance moyenne du Soleil à la Terre, Distances extrêmes au Soleil : 118 et 171 miUions de km. Période de révolution sidérale : 0,951 an. Plus courte distance possible à la Terre : 16,9 millions de km. Diamètre estimé : 1,3 km. Type : S (silicaté).

Athena. Famille de lanceurs à poudre américains, précédemment dénommés LLV ou LMLV (*Lockheed Martin Launch Vehicle).* Des sept configurations retenues, seule la première, Athena 1,capable de placer jusqu'à 1,71 en orbite basse, a été lancée avec succès en août 1997.

Atlantis. Nom donné à l'un des orbiteurs de la navette spatiale américaine, dont le premier lancement a eu lieu le 3 octobre 1985 de cap Canaveral. Des modifications lui ont été apportées pour lui permettre de s'amarrer à la station orbitale russe Mir*.

Atlas (sigle de *ATmospheric Laboratory for Applications and Science,* laboratoire atmosphérique pour des applications et pour la science). Bloc expérimental international

destiné à être embarqué dans la soute de la navette spatiale américaine pour effectuer des observations ou des mesures concernant la chimie de l'atmosphère, le rayonnement solaire, la physique des plasmas et l'astrophysique.
Trois missions ont eu lieu (Atlas 1, en mars 1992, à bord de l'orbiteur Atlantis ; Arias 2, en avril 1993, à bord de Discovery ; et Atlas 3, en novembre 1994, à bord d'Atlantis).

Atlas. Lanceurs américains mis au point vers 1960 à partir d'un missile intercontinental associé, par la suite, à divers étages supérieurs (Agena, Centaur, etc.).
ENCYCL. Plus de 500 exemplaires, toutes versions confondues, ont été utilisés notamment pour les premiers astronautes du programme Mercury et pour un grand nombre de satellites de télécommunications et de sondes interplanétaires.
Depuis la fin des années 80, les lanceurs Atlas sont commercialisés. Ils sont, avec les Titan et Delta, les concurrents américains des lanceurs européens, russes, chinois et japonais pour la fin de ce siècle. La version actuellement la plus puissante, Atlas 2 AS, capable de placer 8,6 t en orbite terrestre basse et 3,7 t en orbite de transfert géostationnaire, a été mise en service le 16 décembre 1993. De nouvelles versions plus performantes sont attendues : en 1999, Atlas 3A, et en 2000 Atlas 3B, capables de lancer respectivement 41 et 4,51 en orbite de transfert géostationnaire. Le premier lancement commercial d'un Atlas (version Atlas 1) a été effectué par General Dynamics le 25 juillet 1990.

Atlas. Satellite de Saturne (n° XV) découvert en 1980 par l'Américain R. Terrile grâce aux photographies prises par la sonde Voyager 1. Demi-grand axe de son orbite : 137 700 km. Période de révolution sidérale : 0,602 j. Dimensions : 27 x 37 km. Il gravite à 1 000 km environ de la limite extérieure de l'anneau A.

atmosphère n.f. Enveloppe gazeuse entourant une planète ou un satellite naturel.
Atmosphère stellaire : ensemble des couches superficielles d'une étoile qui contribuent au rayonnement que l'on en reçoit.

Atria. Étoile a du Triangle austral. Magnitude apparente visuelle : 1,9. Type spectral : K2. Distance : 400 années de lumière.

ATS (sigle de *Applications Technology Satellite,* satellite de technologie d'applications). Famille de six satellites technologiques géostationnaires américains ayant servi pendant au moins quinze ans, à partir de 1966, pour des expérimentations en météorologie et en télécommunications. On doit à ATS 6 les premiers essais de télévision éducative par satellite.

atterrissage n.m. En parlant d'un engin aérospatial, action de se poser sur le sol de la Terre et, par extension, sur celui de n'importe quel corps céleste.

atterrisseur n.m. (en anglais, *lander).* Engin spatial destiné à se poser sur la surface d'un corps céleste.

attitude n.f. Orientation d'un engin spatial par rapport à trois axes de référence.
ENCYCL. Pourvu de plusieurs petits propulseurs, le système de commande d'attitude qui équipe la plupart des satellites actuels a pour rôle de maintenir cette orientation ou de la modifier si la mission l'exige.
Connaître l'attitude d'un sateËite répond à une nécessité absolue dès lors que doivent être orientés, avec précision, une expérience, une antenne ou des propulseurs (pour des manoeuvres de correction d'orbite).

Attracteur (Grand). Vaste concentration de matière extragalactique dont l'existence a été postulée en 1987 pour expliquer les écarts observés de vitesse radiale de galaxies par rapport à l'expansion uniforme découlant de la loi de Hubble*.
ENCYCL. Caché derrière la Voie lactée, le Grand Attracteur se trouverait dans la direction des constellations de l'Hydre femelle et du Centaure, à une distance de notre galaxie comprise entre 150 et 350 millions d'années de lumière. Sa masse représenterait environ 50 millions de milliards de fois ceËe du Soleil. Son existence reste toutefois controversée car, selon certains spécialistes, les mouvements particuliers qui ont conduit à

postuler sa présence peuvent s'expliquer par la distribution des masses des galaxies des principaux amas de galaxies répertoriés : Hydre, Centaure, Paon, Persée-Poissons.

attraction (newtonienne ou **universelle)** ni. Synonyme de gravitation.

attraction universelle (loi de I'). Loi énoncée par Newton en 1687, selon laquelle deux corps quelconques s'attirent selon la droite joignant leurs centres, proportionnellement aux valeurs *m* et *m'* de leurs masses et en raison inverse du carré de la distance *d* qui les sépare, avec une force F d'intensité : F = $G.mm'/d^a$, où G est une constante de proportionnalité appelée *constante de gravitation.*

ATV (sigle de l'angl. *Automated Transfer Vehicle,* véhicule de transfert automatique). Remorqueur spatial fourni par l'Agence spatiale européenne pour la desserte et les corrections orbitales de la Station* spatiale internationale (ISS).

ENCYCL. Pour remplir ses missions, l'ATV est doté d'une architecture modulaire composée du « Spacecraft » avec la baie de propulsion, l'avionique et le générateur solaire, et du « Cargo Carrier » qui abrite le fret solide et liquide et comprend les équipements de rendez-vous et d'amarrage.

L'ATV emportera jusqu'à 5 500 kg de charges solides placées dans une soute pressurisée, jusqu'à 840 kg d'eau et 100 kg d'air, d'oxygène ou d'azote. Il ravitaille aussi l'ISS en ergols, en emportant dans ses réservoirs externes 306 kg de carburant et 554 kg de comburant.

Le système, qui peut être « mis en sommeil » pendant 6 mois en restant amarré à la station, est réactivé lors des opérations de « rehaussement » de l'orbite de l'ISS. Il utilise alors ses quatre tuyères de propulsion principale ou ses tuyères de contrôle d'attitude pour replacer la station sur la trajectoire souhaitée.

À la fin de la mission, l'ATV se décroche en emportant les déchets qui lui sont confiés. Il effectue automatiquement les manoeuvres de désorbitation et de rentrée dans l'atmosphère terrestre dans laquelle il se consume en toute sécurité.

Un prototype doit voler en 2003 ; il est prévu ensuite de construire de sept à onze exemplaires, selon la durée de l'exploitation de la Station spatiale internationale.

AURA (sigle de Analyse Ultraviolette du Rayonnement Astral). Satellite astronomique français lancé le 27 septembre 1975, pour l'étude du Soleil et des étoiles dans l'ultraviolet.

ENCYCL. Il a cessé de fonctionner à la fin de 1976 et est rentré dans l'atmosphère le 30 septembre 1982. Son lancement marqua un tournant dans la politique spatiale française : il s'agissait du dernier lancement de la fusée nationale Diamant, désormais abandonnée au profit d'un lanceur européen plus puissant, Ariane*. La base de Kourou fut mise en sommeil pour quatre ans, jusqu'en décembre 1979.

AURA. Sigle *de Association ofUniversities for Research in Astronomy.*

Auriga (-ae). Nom latin de la constellation du Cocher (abrév. *Aur).*

aurore polaire. Phénomène de luminescence atmosphérique, observable généralement à de hautes latitudes nord (aurore boréale) ou sud (aurore australe) et dû à l'arrivée d'un flux de particules chargées dans la haute atmosphère terrestre.

ENCYCL. Les aurores polaires découlent de l'interaction du vent solaire et de la magnétosphère. Leur base se situe entre 80 et 300 km d'altitude et leur extension verticale peut atteindre 500 km. Elles présentent des structures variées : taches diffuses, arcs auroraux isolés, rubans de plusieurs milliers de kilomètres. La présence de stries parallèles peut leur donner l'aspect de draperies aux multiples replis ou de couronnes dont les rayons semblent converger vers le zénith magnétique. L'observation spatiale met en évidence l'existence simultanée de ces diverses structures tout au long de l'ovale auroral qui entoure les pôles géomagnétiques, à 12° environ du côté jour et 22° du côté nuit. La luminosité des aurores peut parfois dépasser celle de la pleine lune. Les aurores boréales sont généralement plus lumineuses que les aurores australes qui leur sont conjuguées.

Lorsque le seuil de détection de la couleur est atteint, les aurores paraissent verdâtres ou, plus exceptionnellement, pourpres, violettes ou bleutées. L'analyse spectroscopique met en évidence des raies atomiques et des bandes moléculaires caractéristiques de l'excitation des constituants atmosphériques.
Des phénomènes auroraux ont été mis en évidence dans l'atmosphère des planètes géantes Jupiter, Saturne et Uranus, dotées d'une vaste magnétosphère.

Aussat. Société commerciale australienne, créée en 1981, propriétaire du système national australien de satellites de télécommunications (dont les premiers ont été lancés en 1985) et chargée de son fonctionnement et de sa gestion.

austral, e adj. Du Sud. CONTR. : *boréal.*

Australia Telescope. Radio-interféromètre australien, en Nouvelle-Galles du Sud.
ENCYCL. Mis en service en 1988, il comprend deux composantes principales : d'une part, un réseau compact de six antennes de 22 m de diamètre, installées à l'observatoire Paul-Wild de Culgoora (cinq d'entre elles sont mobiles sur une base est-ouest de 3 km de long, la sixième sur une voie distincte, située à 3 km plus à l'ouest) ; d'autre part, pour obtenir un meilleur pouvoir de résolution, un réseau à longue base, reliant à une ou plusieurs des antennes précédentes une autre antenne de 22 m, située à Mopra, à quelque 100 km plus au sud, et le grand radiotélescope de 64 m de l'observatoire de Parkes*, à quelque 200 km encore plus au sud. Enfin, l'utilisation conjointe d'antennes situées à Perth, Alice Springs, Hobart, Tidbinbilla et Sydney permet d'obtenir des performances équivalentes à celles que fournirait un radiotélescope de 3 000 km de diamètre, avec un pouvoir de résolution atteignant 0,002" à 3 cm de longueur d'onde.

Principal radio-interféromètre à synthèse d'ouverture de l'hémisphère Sud, l'Australia Telescope permet des observations dans une large gamme de longueurs d'onde et est utilisé notamment pour l'étude des molécules présentes dans le milieu interstellaire*.

Autel (en latin *Ara, -ae).* Petite constellation australe. Ses étoiles les plus brillantes sont de magnitude 3 environ.

averse météorique. Phénomène qui se produit parfois lorsque la Terre rencontre un essaim de météorites et qui résulte de la chute dans l'atmosphère de nombreuses météorites, signalée par l'apparition de nombreux météores qui semblent tomber en pluie vers le sol. SYN. : *pluie d'étoiles filantes*

Aviar. Étoile e de la Carène. Magnitude apparente visuelle : 1,8. Type spectral : K0. Distance : 700 années de lumière.

avion spatial. Véhicule spatial réutilisable, généralement habité, qui tient à la fois du satellite artificiel (par son mode de lancement et son aptitude à évoluer dans l'espace) et de l'avion (par sa façon de revenir sur Terre en planant dans l'atmosphère), → **navette spatiale**

avion-fusée n.m. Avion propulsé par un ou plusieurs moteurs-fusées.
ENCYCL. Un tel engin s'apparente à la fois aux avions (par la présence d'ailes pour évoluer dans l'atmosphère) et aux lanceurs (par le mode de propulsion).
À la fin des années 20, diverses démonstrations de propulsion par fusée sont faites en Allemagne sur des véhicules dont on veut accroître la vitesse : automobiles, traîneaux, avions... C'est ainsi que le 11 juin 1928 le premier planeur-fusée du monde, Ente, lancé par catapulte et propulsé par deux fusées à poudre, parcourt plus de 1 200 m en une minute. Les premiers avions-fusées naissent véritablement durant la Seconde Guerre mondiale. Mais, s'ils surclassent les chasseurs à hélices, leur autonomie reste limitée... À la fin du conflit, les États-Unis lancent un important programme d'expérimentation afin d'explorer les vitesses voisines de celle du son ou supérieures. Entre autres, trois types d'avions-fusées, à propulsion liquide, baptisés X-1, X-2 et X-15, seront successivement construits et utilisés. Incapable de décoller seul, un tel engin doit

être transporté par un avion porteur jusqu'à une altitude élevée (au minimum *15 000* m). Dès son largage, le pilote met à feu ses moteurs-fusées.
En une vingtaine d'années, de 1947 (année du premier franchissement du mur du son parle X-1 de C.-Y. Yeager) à 1968 (année de l'arrêt du programme X-15), plus de 200 vols (dont la moitié à plus de Mach 5) seront effectués, et tous les records d'altitude (107,4 km en 1963) et de vitesse (Mach 6,7, soit près de 7 300 km/h en 1967) seront battus.
De 1957 à 1963 sera étudié le projet Dyna-Soar (alias X-20), complémentaire du X-15, mais il ne donnera lieu à aucune réalisation concrète. Par l'abondance des résultats enregistrés (notamment sur les effets physiologiques du vol à grande vitesse et à altitude élevée, et sur les aspects aérodynamiques, thermiques, etc., du phénomène de rentrée atmosphérique), les programmes de recherches avec les avions-fusées ont jeté les bases du vol hypersonique et aidé à la conception de la navette spatiale américaine.

AXAF (sigle de l'angl. *Advanced X-ray Astrophysics Facility,* équipement perfectionné pour l'astrophysique du rayonnement X). Observatoire spatial américain d'astronomie X.
ENCYCL. Prévu comme le troisième grand observatoire orbital de la NASA, après le télescope spatial Hubble* et l'observatoire Compton*, il devait comporter six télescopes concentriques à incidence rasante lui conférant une surface collectrice de 1 500 cm^2 et une sensibilité 100 fois plus grande que celle de l'observatoire Einstein*. Mais, pour des raisons d'économie, l'Agence spatiale américaine a décidé, en 1992, de lui substituer un satellite plus petit. **Chandra X-ray Observatory**

axe du monde. Direction parallèle à l'axe de rotation de la Terre, orientée vers le pôle céleste Nord, et servant d'axe de référence dans les systèmes de coordonnées horaires et équatoriales.

axe polaire. Droite parallèle à l'axe de rotation de la Terre, qui constitue l'un des deux axes de rotation d'un instrument astronomique à monture équatoriale.
ENCYCL. En un lieu donné, l'axe polaire est situé dans le plan nord-sud et fait avec l'horizontale un angle égal à la latitude du lieu. La rotation d'un instrument autour de l'axe polaire modifie l'ascension droite de la ligne de visée mais non sa déclinaison.

axion n.m. Particule élémentaire hypothétique de très faible masse (10^3 eV) qui pourrait être un constituant de la matière* noire froide.

azimut n.m. (de l'arabe *al-samt,* le droit chemin). Angle formé par le plan vertical contenant un astre et le méridien du lieu d'observation, compté à partir du sud, positivement vers l'ouest, soit de 0 à 360°, soit de 0 à ± 180°. C'est l'une des deux coordonnées horizontales, l'autre étant la hauteur*. Les géodésiens et les topographes comptent l'azimut à partir du nord.

azimutal, e, aux adj. Relatif à la définition ou à la mesure des azimuts ; caractérise un instrument, une monture mobile autour d'un axe horizontal et d'un axe vertical. *Cadran solaire azimutal :* cadran solaire à style vertical.
ENCYCL. La monture azimutale est la plus simple des montures susceptibles d'équiper un instrument d'observation astronomique. C'est pourquoi elle est traditionnellement utilisée sur les instruments d'amateur les plus modestes. Mécaniquement, elle est aussi plus satisfaisante que la monture équatoriale*. Cette dernière lui a cependant été longtemps préférée pour les gros instruments en raison de la facilité avec laquelle elle permet de compenser la rotation terrestre. Au contraire, les instruments dotés d'une monture azimutale ne peuvent rester braqués sur un objet céleste qu'en se déplaçant continuellement autour de leurs deux axes simultanément. Le pilotage par ordinateur a permis depuis les années 1970 de résoudre cette difficulté et d'adopter la monture azimutale pour les grands télescopes.

b

B. Type spectral caractérisant, dans la classification de Harvard, les étoiles dont la température superficielle est comprise entre 10 000 et 28 000 K : des étoiles bleues dont le spectre est dominé par les raies de l'hélium neutre, du silicium simplement et doublement ionisé, de l'oxygène et du magnésium ionisés, tandis que les raies de l'hydrogène se renforcent quand la température décroît. Exemples : Rigel, l'Épi, Deneb.

BAA. Sigle de *British* Astronomical Association.*

Baade (Walter), astronome américain d'origine allemande (Schrôttinghausen, Westphalie, 1893 - Gôttingen 1960).
Sa carrière débuta à l'observatoire de Hambourg (1920-1931), où il s'intéressa aux comètes, aux astéroïdes et aux étoiles variables. En 1931, il accepta un poste à l'observatoire du mont Wilson, aux États-Unis. Ses recherches s'orientèrent alors vers la spectroscopie et il travailla avec Hubble sur les galaxies et avec Zwicky sur les supernovae. Pendant la Seconde Guerre mondiale, consigné à Pasadena, il se livra, à l'aide des grands instruments auxquels il avait accès, à une étude observationnelle approfondie de la galaxie M 31 d'Andromède et de ses satellites. Il parvint ainsi à résoudre en étoiles le noyau de M 31 (1944) et put établir l'existence, au sein des galaxies, de deux populations stellaires distinctes. Ses travaux ultérieurs sur les céphéides* amenèrent les astronomes, en 1952, à réviser l'échelle de détermination des distances extragalactiques et à doubler toutes celles mesurées jusque-là, donc à assigner à l'Univers observé des dimensions doubles de celles qu'on lui attribuait auparavant.

Babcock (Harold Delos), astronome américain (Edgerton, Wisconsin, 1882 - Pasadena, Californie, 1968).
Il a fourni d'importantes contributions à la spectroscopie solaire et à l'étude du magnétisme solaire. Avec son fils *Horace Welcom Babcock* (Pasadena 1912), il inventa en 1948 le magnétographe solaire, grâce auquel tous deux procédèrent aux premières mesures du champ magnétique du Soleil, en exploitant l'effet Zeeman*.

Baïkonour. Appellation officielle jusqu'en juillet 1992, mais toujours usuelle, d'un important cosmodrome du Kazakhstan, près de la mer d'Aral, à plus de 2 000 km au sud-est de Moscou.
ENCYCL. Le nom de Baïkonour est celui d'une ville distante de... 300 km alors que le cosmodrome se trouve à 60 km de Leninsk (à l'existence longtemps tenue secrète et qui compte aujourd'hui près de 60 000 habitants vivant pour et de l'espace) dont l'extension a englobé le vieux village de Tiouratam.
Sa construction commence en 1955. Quarante ans plus tard, on lui attribue un millier de lancements spatiaux : tous les vaisseaux spatiaux habités, les sondes planétaires, les stations orbitales et de nombreux autres satellites (notamment les géostationnaires) de l'ex-URSS.
Baïkonour s'étend sur 1 600 km^2 et possède un important réseau de routes, de voies ferrées, de pistes d'atterrissage, des dizaines d'ensembles de lancement, d'imposants bâ-

timents, dont le MIK, vaste hall d'assemblage d'où les Zemiorka sortent, à l'horizontale, deux jours avant leur lancement, pour rejoindre le site prévu et y être placées en position verticale.
Pendant ce temps, à quelques kilomètres de là, à l'hôtel des cosmonautes de Leninsk, les futurs passagers de ces Zemiorka achèvent leur préparation. Ils n'en partiront que cinq ou six heures avant le décollage de leur lanceur pour gagner, en autocar, le site de Baïkonour.
Et, curieusement, c'est encore dans les steppes du Kazakhstan, au nord de Baïkonour, près d'Arkalyk, que sont récupérées (sauf incident) les capsules spatiales habitées russes.
Après de longs mois de négociation, le Kazakhstan a accepté, en 1994, de louer le cosmodrome de Baïkonour à la Russie pour une durée de vingt ans, avec une prolongation ultérieure possible de dix ans.

Baillaud (Benjamin), astronome français (Chalon-sur-Saône 1848 - Toulouse 1934).
En 1919, il fut à l'origine de la création des Unions scientifiques internationales et fut le premier président de l'Union* astronomique internationale.

Bailly (Jean Sylvain), savant et homme politique français (Paris 1736- 1793).
On lui doit une *Histoire de l'astronomie ancienne* (1775), *une Histoire de l'astronomie moderne* (1778-1783) et une *Histoire de l'astronomie indienne et orientale* (1787). Il fut le premier maire élu de Paris (1789) et périt sur l'échafaud (1793).

Bailly. L'un des plus grands cirques lunaires, du type « plaine murée », près du bord sud-ouest de l'hémisphère visible de la Terre. Coordonnées : 67° S., 69° O. Diamètre extérieur : 303 km.

Baily (Francis), astronome et mathématicien anglais (Newbury, Berkshire, 1774 - Londres 1844).
L'un des fondateurs de la Société astronomique de Londres, il s'illustra notamment par la réorganisation du *Nautical Almanach,* la fixation du *yard,* une détermination de la densité de la Terre, la révision de catalogues d'étoiles et la découverte des grains qui portent son nom, en 1836.

Baily (grains de). Chapelet de points lumineux dû aux indentations du profil lunaire, que l'on observe lors des éclipses totales du Soleil, au début et à la fin de la totalité.

Balance (en latin *Libra, -ae).* Constellation du zodiaque.
ENCYCL. Ses étoiles les plus brillantes sont Kiffa* australe (J3) et Kiffa boréale (a). C'est la seule constellation zodiacale qui évoque un objet inanimé.

Baleine (en latin *Cetus> -f).* Grande constellation équatoriale qui s'étend au S. des constellations zodiacales du Bélier et des Poissons.
ENCYCL. Citée par Eudoxe, Aratos, Hipparque et Ptolémée, elle évoque le monstre marin envoyé par Poséidon pour dévorer Andromède. Son étoile la plus remarquable est la variable *Mira* Ceti.*

balise n.f. Émetteur électromagnétique utilisé dans un but de localisation.
ENCYCL. Selon les cas, une balise peut occuper *une* position qui constitue un point (fixe) de référence ou, au contraire, un point (fixe ou mobile) dont on cherche à connaître les coordonnées. Les systèmes spatiaux Argos, DORIS, Sarsat, entre autres, font intervenir un grand nombre de balises de ce type.

balistique 1. n.f. Science du mouvement des projectiles. **2.** adj. Qui concerne ou rappelle les projectiles. Qualifie un engin (ou son mouvement) sur lequel n'agissent que des forces naturelles (principalement de gravitation! par exemple certains missiles.
ENCYCL. À propos d'un engin spatial, on peut opposer la phase balistique d'un vol (d'un lanceur ou d'une sonde spatiale) à la phase propulsée (lorsque agissent des moteurs), la rentrée balistique (d'une capsule) à la rentrée planée (des navettes), un vol balistique (ou suborbital), sans satellisation, à un vol orbital, avec satellisation, etc.

ballon n.m. Nom générique de tout appareil capable de s'élever dans l'atmosphère sous la seule poussée d'Archimède d'un

gaz plus léger que l'air ambiant (par exemple, de l'air chaud, de l'hydrogène ou de l'hélium).

ENCYCL. Composé d'une enveloppe et d'une charge utile (instruments et expériences), le ballon est aujourd'hui un véhicule apprécié en recherche scientifique (aéronomie, météorologie, géophysique, biologie, astronomie et exploration planétaire), SYN : *aérostat*. La première « machine volante » fut un ballon. Le 4 juin 1783, Joseph et Étienne de Montgolfier inventent l'aérostation en faisant voler, en public, une volumineuse enveloppe de toile remplie d'air chaud. Beaucoup d'autres vols, avec ou sans passagers, sont effectués au XIXe et au début du XXe siècle, à des fins militaires, scientifiques ou sportives.

C'est vers 1960 que la communauté scientifique redécouvre véritablement le ballon en tant que véhicule adapté au transport d'expériences spécifiques. À cela, trois raisons principales :
- l'apparition de films plastiques minces, résistants et étanches, se prêtant à la fabrication d'enveloppes de qualité ;
- la mise au point de systèmes automatiques de télémesure et de télécommande ;
- la maîtrise de la technique de récupération des nacelles accrochées à l'enveloppe.

Aujourd'hui, plus d'une centaine de gros ballons libres sont lâchés chaque année pour les besoins de la recherche spatiale, principalement par les États-Unis et la France et, à un degré moindre, par le Japon, l'Inde, le Brésil, la Suède, la Norvège et la Russie.

Comparé aux autres véhicules spatiaux, le ballon se caractérise par :
- son aptitude à circuler dans l'atmosphère, plus ou moins haut et longtemps, dans une région interdite aux satellites et que les fusées-sondes traversent en quelques minutes ;
- sa capacité d'emporter des expériences plus lourdes, plus encombrantes et à moindre coût que celles réservées aux fusées-sondes et aux satellites.

CATÉGORIES DE BALLONS. La recherche spatiale utilise principalement trois catégories de ballons :
- les ballons ouverts (dits stratosphériques). Les plus performants possèdent une enveloppe de polyéthylène (de 15 micromètres d'épaisseur), d'un volume de 900 000 m^8, soit une surface de 4 ha et un diamètre de 120 m. Ils peuvent emporter une nacelle de 2,61 jusqu'à 37 km d'altitude et l'y maintenir au maximum une vingtaine d'heures. Cette faible durée de vie s'explique par leur incapacité à absorber la moindre surpression, ce qui est dû au fait qu'ils sont « ouverts », c'est-à-dire que l'intérieur de l'enveloppe communique (par des manchons situés à la base de celle-ci) avec l'atmosphère. Dans ces conditions, dès que le volume de l'enveloppe - donc sa force ascensionnelle - vient à faiblir (notamment la nuit, avec la chute de la température), on ne les maintient au plafond qu'en jetant beaucoup de lest, opération qu'on ne peut répéter indéfiniment ;
- les ballons pressurisés, dont l'enveloppe est fermée et a un diamètre plus modeste (quelques mètres). Ils peuvent demeurer plusieurs mois vers 10 km d'altitude. Par exemple, en 1971, pour l'expérience Éole*, le CNES a lâché 479 ballons de ce type (de 3,7 m de diamètre) dans l'hémisphère Sud pour étudier la circulation atmosphérique au niveau 12 km. Treize d'entre eux ont fonctionné plus d'un an.

En juin 1985, deux ballons pressurisés soviétiques, transportés par les sondes spatiales Vega, ont été libérés dans l'atmosphère de Vénus où ils ont dérivé, vers 55 km d'altitude, à la vitesse moyenne de 70 m/s, retransmettant par radio (pendant près de deux jours) les résultats de leurs mesures météorologiques et parcourant le tiers du tour de la planète. Pour la première fois, l'atmosphère d'une planète autre que la Terre était explorée de cette manière ;
- les montgolfières, dont le gaz porteur (de l'air contenu dans une enveloppe ouverte à la base) est chauffé naturellement. En France, le CNES utilise des montgolfières infrarouges de 36 000 m^3 chauffées le jour par le Soleil et la nuit par le rayonnement infrarouge émis par la surface terrestre et qu'arrête la partie supérieure aluminisée de leur enveloppe. Elles sont capables de maintenir une charge de 50 kg entre 20 km (la nuit) et 30 km (le jour) pendant deux ou trois mois. Au cours de l'hiver 1982-1983, un ballon de ce type (de forme cylindrique et de 40 m de diamètre) a bouclé le tour du

monde en sept semaines, transportant 65 kg dont 35 d'instruments pour l'étude des ondes de gravité.

ballon-sonde n.m. Ballon libre non habité, muni d'appareils de mesure dont les indications sont retransmises au sol par radio, utilisé pour faire des mesures locales dans l'atmosphère.

Balmer (série ou **raies de)** [du nom de J.J. Balmer, physicien suisse (1825-1898)]. Série de raies caractéristiques de l'hydrogène, que l'on observe en absorption (raies sombres) dans le spectre des étoiles et en émission (raies brillantes) dans le spectre de certaines nébuleuses.
ENCYCL. Ces raies sont émises lorsque, dans un atome d'hydrogène, l'électron tombe sur le second niveau d'énergie, et absorbées lors des transitions inverses. Au fur et à mesure qu'on se rapproche de la limite d'ionisation, les niveaux d'énergie sont de plus en plus rapprochés et les raies deviennent donc de plus en plus voisines. Leur longueur d'onde tend vers *la* valeur limite : 364,598 nm (3 645,98 Å). L'accumulation des raies au voisinage de cette longueur d'onde provoque, dans les spectres stellaires, une diminution de l'intensité du rayonnement, connue sous le nom de *discontinuité de Balmer.* Les raies de Balmer sont désignées par la lettre H suivie d'une lettre grecque, a s'appliquant à la raie de longueur d'onde la plus élevée, [3 à la suivante, etc. Les longueurs d'onde correspondant aux principales raies sont :
Ha : 656,282 nm (6 562,82 Å) rouge
HP : 486,135 nm (4 861,35 Å) bleu
Hy : 434,046 nm (4 340,46 Å) violet
H8 : 410,174 nm (4 101,74 Å) violet
He : 397,007 nm (3 970,07 Å) violet
avec 1 nm = 10^{9} m (un milliardième de mètre).

bande (de fréquences) n.f. Intervalle du spectre électromagnétique compris entre deux fréquences radioélectriques spécifiées.
ENCYCL. Les conférences administratives mondiales des radiocommunications ont attribué aux divers services utilisateurs des plages de fréquences pour l'émission et la réception d'ondes radioélectriques.
En astronautique, on exploite la partie du spectre électromagnétique où les ondes traversent correctement l'atmosphère terrestre et qui se situe au-dessus de 100 MHz. On distingue les gammes :
- VHF *(Very High Frequency)* de 30 à 300 MHz,
- UHF *(Ultra High Frequency)* de 300 à 3 000 MHz,
- SHF *(Super High Frequency)* au-delà de 3 GHz.
Les satellites utilisent des bandes de fréquences qui leur sont spécifiquement affectées. On peut citer, parmi ces dernières, les bandes :
- 20-40 MHz (télémesures d'engins russes),
- 136-138 MHz (télémesures de satellites américains et des satellites français),
- 148-150 MHz (télécommandes des satellites français),
- 245-250 MHz (lanceurs),
- 450-465 MHz (émissions de balises Sarsat),
- 2,1-2,3 GHz (télémesures de sondes spatiales et du lanceur Ariane),
- 3,4-8 GHz (télémesures, télécommandes et télécommunications),
- 11,7-12,5 et 17-21 GHz, ainsi qu'une multitude de bandes de fréquences supérieures à 30 GHz (télécommunications expérimentales).
Les télécommunications par satellites utilisent principalement quatre bandes de fréquences : la bande C (de 4 à 8 GHz), la bande X (de 8 à 12 GHz), la bande Ku (de 12 à 18 GHz) et la bande Ka (de 27 à 40 GHz).

Barbier (Daniel), astrophysicien et géophysicien français (Lyon 1907 - Manosque, Alpes-de-Haute-Provence, 1965).
En astronomie, il est connu pour ses travaux de spectrophotométrie stellaire et, en particulier, pour la classification spectrale quantitative des étoiles qu'il mit au point avec D. Chalonge. En géophysique, il organisa un réseau international d'observation de la luminescence atmosphérique et découvrit l'existence de certains phénomènes amoraux non polaires.

Barlow (lentille de) [du nom de son inventeur, P. Barlow, mathématicien et physicien anglais (1776-1862)]. Doublet

achromatique divergent qui permet de doubler ou tripler le grossissement d'un oculaire, dans une lunette ou un télescope, en doublant ou triplant la distance focale de l'objectif.

Barnard (boucle de). Anneau de gaz interstellaire chaud, perceptible comme une structure elliptique de 14° sur 10° dans la constellation d'Orion*.
ENCYCL. Elle résulterait de l'action sur la matière interstellaire de la pression* de rayonnement des étoiles chaudes situées dans la région du Baudrier et de l'Épée d'Orion.

Barnard (Edward Emerson), astronome américain (Nashville 1857 - Williams Bay, Wisconsin, 1923).
D'abord amateur, il se fit connaître à partir de 1881 par la découverte de comètes : au cours de sa carrière, il en découvrit une vingtaine et, en 1892, il fut le premier à en trouver une à l'aide de la photographie. Devenu professionnel, il travailla d'abord à l'observatoire Lick (1888), puis à l'observatoire Yerkes, dont il devint le directeur en 1895. On lui doit, notamment, la découverte du cinquième satellite de Jupiter, Amalthée (1892), et des milliers de photographies de la Voie lactée.

Barnard (étoile de) Étoile de la constellation d'Ophiucus, découverte en 1916 par E.E. Barnard.
ENCYCL. C'est une naine rouge, de type spectral M5 et de magnitude visuelle 9,5. Située à 6 al de la Terre, elle est l'étoile la plus proche du système solaire après le système triple de a du Centaure*. Mais elle est surtout connue comme l'étoile ayant le plus grand mouvement propre : son déplacement annuel sur la sphère céleste atteint 10,31". Elle se rapproche actuellement de nous à la vitesse radiale de 108 km/s et sa distance diminue de 0,036 al par siècle. Dans quelque 10 000 ans, sa distance ne sera plus que de 3,85 al : elle deviendra alors l'étoile la plus proche du système solaire. En étudiant, à partir de 1937, à l'observatoire Sproul, à Swarthmore, en Pennsylvanie, les perturbations de son mouvement, l'Américain d'origine hollandaise Peter Van de Kamp a cru pouvoir établir que cette étoile possède deux planètes, l'une dont la masse atteint 0,8 fois celle de Jupiter et dont la période de révolution est de 11,7 ans, l'autre, plus petite, dont la masse vaut 0,4 fois celle de Jupiter et dont la période de révolution est voisine de 20 ans, mais ces conclusions ont été infirmées.

Barringer (cratère) Meteor Crater

barycentre n.m. Centre de masse d'un système de corps en mouvement sous l'effet de leur attraction gravitationnelle mutuelle.

baryon n.m. Nom générique désignant une particule fondamentale lourde qui subit l'influence de la force nucléaire forte, comme le proton ou le neutron.
ENCYCL. TOUS les astres connus par leur rayonnement sont formés de matière baryonique. La matière* noire, invoquée pour rendre compte de certaines observations concernant le mouvement des étoiles dans les galaxies spirales et la dynamique des galaxies au sein des amas qui les abritent, pourrait comporter une composante baryonique (étoiles de faible masse, gaz interstellaire froid) et une composante non baryonique (particules massives hypothétiques n'interagissant que très peu avec la matière, monopôles magnétiques, cordes cosmiques, etc.). Toutefois, ce que l'on sait de la nucléosynthèse primordiale implique que la quantité de matière noire baryonique ne peut excéder 10 fois la quantité de matière visible.

base de lancement. Lieu où sont réunis un ou plusieurs ensembles de lancement, des moyens logistiques et des installations permettant le suivi des premières phases de vol d'un véhicule aérospatial et la mise en œuvre des mesures de sauvegarde.
ENCYCL. Le choix du site d'une base de lancement se fonde sur des critères de sécurité, de rentabilité et d'accessibilité du lieu, et de stabilité géologique et politique. Le facteur sécurité est déterminant : pour éviter que des régions très peuplées risquent d'être affectées par l'explosion au décollage ou la chute d'un véhicule spatial après son lancement, on est conduit à privilégier des régions désertiques, des côtes océaniques ou

des îles, ou encore des régions montagneuses (mais celles-ci peuvent être le siège de séismes et offrent l'inconvénient d'être d'un accès difficile). Le facteur rentabilité est également décisif. Il est lié à des critères géographiques ou économiques. Plus la latitude du site est proche de l'équateur, mieux on tire parti du surcroît d'accélération dû à la rotation terrestre, pour les tirs vers l'est. La possibilité de lancer dans tous les azimuts permet d'utiliser le même ensemble de lancement pour les missions les plus variées, qu'il s'agisse du lancement de sateËites géostationnaires ou de celui de satellites polaires. Encore convient-il que les investissements à réaliser pour l'aménagement de la base de lancement ne soient pas trop élevés et que le site bénéficie d'infrastructures autorisant des liaisons aériennes et/ou maritimes et des communications convenables. Il importe enfin de choisir une région épargnée par les séismes (ou autres cataclysmes) naturels ou politiques.

→ **tableau des principales bases de lancement du monde, en fin d'ouvrage**

bassin d'impact. Vaste structure circulaire, peu profonde, à la surface d'une planète, creusée par l'impact d'une grosse météorite. Le fond du bassin a parfois été rempli de laves provenant d'une activité volcanique ultérieure ; certains bassins sont entourés d'une succession de remparts montagneux concentriques.

bâton de Jacob. Synonyme de arbalestrille.

Battani (al-), astronome arabe (Harran, Turquie, v. 858 - Qasr al-Djiss, près de Samarra, 929).
Il a laissé un grand traité d'astronomie, le *Zidj,* dont une édition imprimée a été publiée en 1537 sous le titre *De motu stellarum.* Ses observations lui permirent d'améliorer la valeur de la durée de l'année tropique, de la précession annuelle des équinoxes et de l'obliquité de l'écliptique. Il démontra que la position du Soleil à l'apogée (dans le mouvement apparent de cet astre autour de la Terre) varie, ce qui autorise les éclipses* annulaires du Soleil. Enfin, il améliora les calculs astronomiques de Ptolémée en substituant aux méthodes géométriques de l'astronome grec des méthodes trigonométriques. II fut l'astronome^ arabe le plus connu en Europe au Moyen Âge. On le désigne parfois par son nom latinisé, Albategnius.

Baudry (Patrick), officier aviateur et spationaute français (Douala, Cameroun, 1946).
Sélectionné comme spationaute par le CNES en 1980, il est remplaçant de Jean-Loup Chrétien pour la mission PVH* de 1982. En 1985, il participe en tant que spécialiste de charge utile à la 18e mission de la navette américaine (51 G), du 17 au 24 juin, à bord de Discovery, devenant ainsi le deuxième spationaute français à effectuer un vol spatial. En 1989, il a créé à Cannes-la-Bocca un centre d'initiation et d'entraînement aux activités spatiales pour les jeunes *(Space Camp),* qui a cessé de fonctionner à la fin de 1992.

Bayer (Johann), astronome allemand (Rain, 1572 - Augsbourg 1625).
Son *Uranometria* (1603) constitue le premier atlas céleste qui ait été imprimé. On y trouve 12 constellations nouveËes (s'ajoutant aux 48 citées par Ptolémée) et, pour la première fois, les étoËes de chaque constellation désignées, d'après leur éclat apparent, par des lettres grecques.

BD. Abréviation de *Bonner*Durchmusterung.*

BDL. Sigle de Bureau* Des Longitudes.

Be (étoile). Étoile de type spectral B, non supergéante, dont le spectre présente des raies d'émission de l'hydrogène superposées aux raies d'absorption.

Becklin-Neugebauer (objet de). L'une des plus brillantes sources célestes de rayonnement infrarouge, découverte en 1967 par les astronomes américains Eric Becklin et Gerry Neugebauer à l'intérieur de la nébuleuse de Kleinmann-Low, elle-même localisée au sein de la nébuleuse d'Orion*.
ENCYCL. Il s'agirait d'une étoile massive très jeune, de type spectral B, presque impercep-

tible en lumière visible parce que masquée par d'épais nuages de poussières interstellaires.

Beer (Wilhelm), astronome allemand (Berlin 1797 - 1850).
Banquier à Berlin et membre de la Chambre prussienne, il s'occupa d'astronomie et établit un observatoire près de Berlin. En collaboration avec Mâdler, il effectua les premières observations qui permirent d'établir une carte de la planète Mars. Il était le frère aîné du compositeur Meyerbeer.

Beijing (observatoire de) Pékin (observatoire de)

Bélier (en latin *Aries, -etis).* Constellation du zodiaque.
ENCYCL. Son étoile principale est Hamal y *Ari* est une étoile double visuelle, l'une des premières à avoir été découverte, fortuitement, en 1664 par l'Anglais Robert Hooke, alors qu'il suivait une comète. Ses composantes, blanches, de magnitudes respectives 4,7 et 4,8 sont écartées de 8" environ et, donc, facilement séparables avec de petits instruments d'amateur. Il y a environ 2 000 ans, le Soleil entrait dans cette constellation à l'équinoxe de printemps : le Bélier était ainsi considéré comme la première constellation traversée par le Soleil dans sa course annuelle. Mais, par suite de la précession des équinoxes, le point vernal* se situe de nos jours dans la constellation des Poissons, que le Soleil atteint un mois plus tôt.

Belinda. Satellite d'Uranus (n° XIV), découvert en 1986 par la sonde américaine Voyager 2. Demi-grand axe de son orbite : 75 300 km. Période de révolution sidérale : 14 h 58 min. Diamètre : 60 km.

Bellatrix (nom latin signifiant *la guerrière).* Étoile y d'Orion. Magnitude apparente visuelle : 1,6. Type spectral : B2. Distance : 250 années de lumière.

Benetnasch (de l'arabe *al-qa'id aîbenat al-na'sh,* le conducteur des pleureuses, par allusion à sa position et à une représentation ancienne de la constellation de la Grande Ourse, regardée comme un cercueil précédé de pleureuses). Autre nom de l'étoile Alkaïd*.

Bennett (comète). Comète découverte le 28 décembre 1969 par le Sud-Africain J.C. Bennett. Désignation officielle : 1970 II.
ENCYCL. Visible à l'œil nu à partir de février 1970, elle atteignit en mars 1970, près de son périhélie, la magnitude 0 et présenta une queue de 30° environ de long. Le satellite américain OGO 5 révéla l'existence d'un vaste halo d'hydrogène neutre autour de cette comète.

Beppo-SAX (Beppo pour Giuseppe Occhialini, astronome italien, et SAX pour *Satellite Italiano yer lAstronomia a raggi X).* Satellite italien d'étude des sources célestes de rayons X dans la gamme d'énergie de 0 à 300 keV, lancé en 1996. Il a étudié des binaires X et des noyaux actifs de galaxies et découvert qu'un faible rayonnement X est associé aux sursauts* y.

Bercenay-en-Othe. Commune de l'Aube où fonctionne un important centre de télécommunications spatiales.
ENCYCL. Ce centre dispose de quatorze grandes antennes (d'un diamètre de 11 à 32,5 m) et de quelques petites antennes affectées à des fonctions particulières.
Environ 120 agents assurent l'exploitation et la maintenance de ces installations qui fonctionnent 24 heures sur 24.
Le centre de Bercenay-en-Othe travaille essentiellement dans quatre réseaux :
- Intelsat, pour les liaisons intercontinentales, avec sept antennes pointées vers les satellites desservant les zones des océans Atlantique et Indien ;
- Eutelsat, pour le trafic téléphonique et audiovisuel sur l'Europe (quatre antennes) ;
- Télécom 2, pour les échanges avec les départements français d'outre-mer et les échanges internationaux.
- Arabsat, pour des services audiovisuels.

Berger (étoile du). Appellation populaire de la planète Vénus*.

Bessel (Friedrich Wilhelm), astronome allemand (Minden 1784 - Kônigsberg 1846).
La publication, à 19 ans, d'un calcul d'orbite

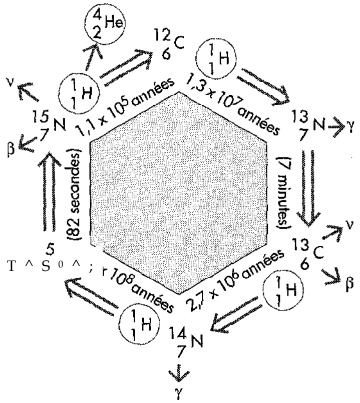
cométaire le fit remarquer par Olbers ; celui-ci le mit en contact avec Gauss, qui lui demanda de l'aider à calculer les orbites de plusieurs astéroïdes récemment découverts. En 1806, il devint l'assistant de J.H. Schrôter à son observatoire de Lilienthal, près de Brème, et commença à établir un catalogue d'étoiles. Puis, en 1809, il obtint la chaire d'astronomie à l'université de Kônigsberg et fut chargé de diriger la construction d'un nouvel observatoire en cette ville. C'est là que se déroula toute sa carrière, consacrée à l'astrométrie. De 1821 à 1833, il détermina les positions d'environ 75 000 étoiles plus brillantes que la magnitude *9,* sur un région du ciel s'étendant entre - 15° et + 45° de déclinaison, en 1838, il publia la première mesure de la parallaxe d'une étoile *(64 Cygni),* déterminant ainsi pour la première fois une distance stellaire. En étudiant les mouvements propres de Sirius et de Procyon, il prédit l'existence, autour de ces étoiles, d'un compagnon obscur, formant avec la composante brillante un système double : ces compagnons furent effectivement découverts à partir de 1862. Enfin, en 1835, lors du retour près du Soleil de la comète de Halley, il en effectua des observations très détaillées qui l'amenèrent à élaborer une théorie de la structure des queues cométaires.

Bêta Pictoris p Pictoris

Bêta Regio. Vaste région montagneuse de l'hémisphère sud de Vénus, autour de 30° S. et 75° O., dominée par deux volcans en forme de boucliers, *Theia Mons* et *Rkea Mons,* qui culminent à 4 500 m environ.

Bételgeuse (de l'expression arabe *ibt al-ghiil* signifiant *l'épaule du géant).* Étoile a d'Orion. Magnitude apparente visuelle moyenne : 0,8 (elle varie semi-régulièrement de *0,4* à 1,2, avec une période moyenne de 2 110 jours, par un phénomène de pulsation). Type spectral : M2. Distance : 400 années de lumière. Rayon moyen : 800 fois environ celui du Soleil. Masse : 20 fois celle du Soleil. C'est une supergéante rouge 5 000 fois plus lumineuse que le Soleil. Lorsque son éclat est maximal, c'est la huitième des étoiles les plus brillantes du ciel.

Cycle *de* **Bethe**



Bethe (cycle de). Cycle de réactions thermonucléaires de fusion, qui réalise globalement la fusion de quatre protons en un noyau d'hélium *(voir* figure ci-dessus) en partant de la fusion de protons et de noyaux de carbone, régénérés à la fin du cycle.

ENCYCL. Prépondérant au cœur des étoiles chaudes, il est à l'origine de l'énergie rayonnée par ces étoiles. Sa découverte (en 1938) a valu au physicien Hans Albrecht Bethe le prix Nobel de physique en 1967. On dit aussi *cycle du carbone* ou *cycle CNO.*

Bethléem (étoile de) -» étoile des Mages

Bianca. Satellite d'Uranus (n° VIII), découvert en 1986 par la sonde américaine Voyager 2. Demi-grand axe de son orbite : 59 200 km. Période de révolution sidérale : 10 h 26 min. Diamètre : - 50 km.

Biela (comète de). Comète périodique découverte en 1826 par l'Autrichien Wilhelm von Biela (1782-1856), qui l'identifia à celle déjà observée en 1772 et en 1805.
On la revit en 1832, puis en 1846, où elle apparut scindée en deux fragments que l'on réobserva pour la dernière fois en 1852. Elle est à l'origine de l'essaim de météorites des Biélides.

Biélides. Essaim de météorites provenant de la désintégration de la comète de Biela ou météores associés observables en novem-

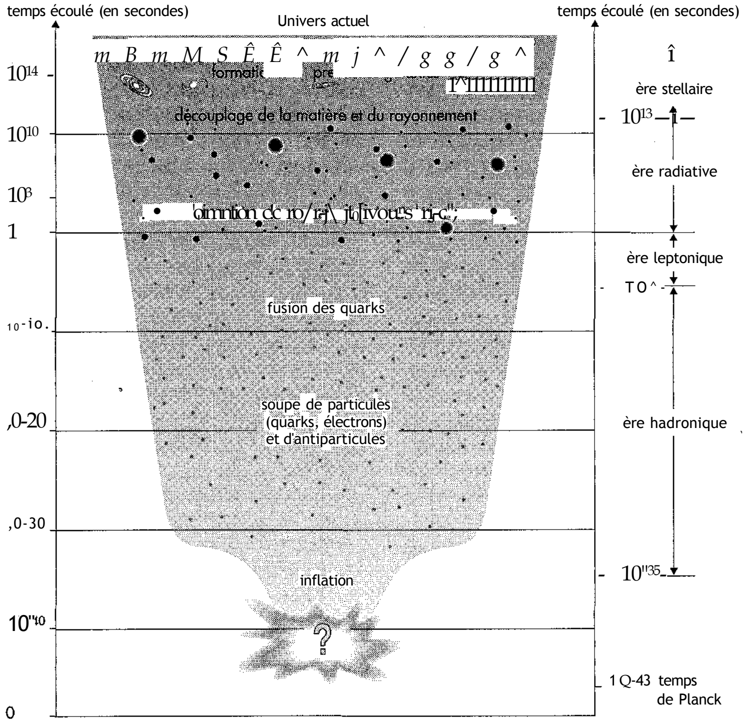
bre, dont le radiant se situe dans la constellation d'Andromède. On les appelle aussi *Andromédides.*
Des averses météoriques importantes ont eu lieu le 27 novembre 1872 et le 27 novembre 1885, mais aussi, auparavant, en 1741, 1798,1830 et 1838.

biergol n.m. Synonyme de diergol.

Biermann (Ludwig E), astronome allemand (Hamm, Westphalie, 1907). Auteur de recherches concernant l'évolution et la structure des étoiles, la physique des plasmas et ses relations avec l'astrophysique, l'atmosphère solaire et la physique cométaire, il a, le premier, en 1951, suggéré l'existence du vent solaire pour expliquer la formation des queues de plasma des comètes.

Big Bang. Événement qui, selon les modèles cosmologiques les plus largement acceptés aujourd'hui, serait à l'origine de l'Univers tel que nous le découvrons. On dit parfois *explosion primordiale.*
ENCYCL. Les modèles cosmologiques établis en 1922 par le Russe A. Friedmann dans le cadre de la théorie de la relativité* générale (-• **cosmologie)** et la mise en évidence par l'Américain E. Hubble, dans les années suivantes, du décalage spectral systématique vers le rouge des galaxies*, interprété comme un effet de l'expansion* de l'Univers, ont conduit à l'hypothèse selon laquelle l'Univers que nous observons aurait été primitivement extrêmement chaud et dense, et serait brutalement entré en expansion. Proposée dès 1931 par le Belge G. Lemaître, cette théorie a été reprise et développée à partir de 1946 par l'Américain

Big Bang



G. Gamow. C'est l'un de ses plus farouches adversaires, le Britannique F. Hoyle qui, par dérision, lui a donné le nom de « théorie du Big Bang », sans se douter de la popularité qu'allait connaître cette dénomination.
Les modèles standard du Big Bang sont des modèles théoriques qui décrivent l'évolution d'un univers homogène et isotrope en expansion, à partir d'un état primitif de température et de densité infinies (singularité initiale), en négligeant la constante cosmologique*, les complications topologiques de l'espace-temps et ses propriétés quantiques.
LES FAITS D'OBSERVATION. Quatre faits d'observation peuvent être invoqués aujourd'hui en faveur de la théorie du Big Bang. Le premier est le mouvement général de récession des galaxies, qui témoigne de l'expansion de l'Univers. Le deuxième est le rayonnement* du fond de ciel : prédit par Gamow en 1948, celui-ci a été détecté en 1965 par les Américains A. Penzias et R. Wilson, et s'interprète aisément comme un rayonnement fossile, vestige de la chaleur initiale. Un troisième fait expérimental est l'abondance, dans l'Univers, des éléments chimiques les plus légers, en particulier de l'hydrogène et de l'hélium : les valeurs observées (notamment la proportion d'hélium : 25 % en masse, quelles que soient les régions cosmiques considérées) impliquent que l'Univers a connu une phase primordiale très chaude et très dense, durant laquelle se sont produites des réactions nucléaires qui ont fabriqué des noyaux d'atomes légers (nucléosynthèse primordiale). La quatrième donnée expérimentale concerne le nombre de familles de particules élémentaires. Depuis 1989, des expériences réalisées dans des laboratoires de physique des particules (Cern, Stanford) ont apporté la preuve que, conformément à ce que prévoit la théorie du Big Bang, la matière n'est constituée que de trois grandes familles de particules élémentaires : la famille électronique, la famille muonique et la famille tauique.

LES PREMIERS INSTANTS. Une erreur fréquente consiste à concevoir le Big Bang comme l'explosion d'une sorte d'objet hyperdense dans un espace préexistant. Il faut, en fait, admettre que cet événement singulier a engendré à la fois l'espace, le temps et la matière, tels que nous les connaissons. La description des premiers instants (*voir* figure) fait appel aux acquis de la physique des particules. L'instant zéro, celui du Big Bang lui-même, conserve tout son mystère. L'arsenal théorique de la physique actuelle ne permet pas, en effet, de décrire la fournaise initiale durant le bref instant - 10^{-43} seconde - après le Big Bang pendant lequel la température excéda 100 000 milliards de milliards de milliards de kelvins. Dans cet intervalle, appelé *temps de Pknck,* les effets quantiques étaient prépondérants et l'on présume que les quatre forces fondamentales à l'œuvre dans la nature - la force (nucléaire) forte, la force (nucléaire) faible, la force électromagnétique et la gravitation - devaient être réunies en une « superforce » unique. Mais la théorie permettant cette grande unification reste à bâtir et, tant que l'on ne disposera pas d'une théorie quantique de la gravitation, le Big Bang restera inaccessible. Infiniment chaud et dense à l'origine, l'Univers n'a cessé depuis de se dilater et de se refroidir. L'ère hadronique commença 10^{-35} seconde après le Big Bang : dans le gaz très chaud, la force nucléaire forte devint prépondérante et apparurent des particules instables (principalement des quarks) et leurs antiparticules. Un milliardième de seconde après le Big Bang, la température étant descendue à 10^{13} K, les quarks s'associèrent par triplets pour donner les premières particules stables lourdes, des protons et des neutrons. Un millionième de seconde après le Big Bang, des particules légères, les leptons (électrons, neutrinos), prirent le relais sur le devant de la scène : l'Univers entra dans l'ère leptonique. A ce stade, celui-ci contenait un gaz très chaud de particules élémentaires et, baignant ce gaz de toutes parts, des photons.

Une seconde après le Big Bang, la température s'étant abaissée à 10^{10} K, les leptons cessèrent à leur tour d'être la population dominante. Protons et neutrons commencèrent à se combiner pour former les premiers noyaux atomiques. La physique de l'Univers passa sous la coupe des photons : ce fut le début de l'ère radiative. Dans les minutes suivantes, le processus de combinaison des neutrons et des protons s'intensifia. Mais cette étape, la nucléosynthèse primordiale, dura moins d'un quart d'heure : seuls purent

se former des noyaux atomiques légers (hydrogène, hélium, deutérium, lithium) avant que l'expansion cosmique ne sépare les particules. A cette époque, matière et rayonnement étaient en équilibre thermique, car électrons et photons interagissaient sans cesse.

DES PREMIERS NOYAUX AUX PREMIÈRES GALAXIES. A CES premières minutes exceptionnellement riches en événements succéda une longue période tranquille. Continuant à se dilater et à se refroidir, l'Univers resta longtemps encore opaque, les photons étant retenus par la « soupe » de matière ionisée. Ce n'est que vers 300 000 ans plus tard que la température devint suffisamment basse (3 000 K) pour que les noyaux atomiques et les électrons puissent se combiner en formant des atomes. Les interactions des photons avec la matière diminuèrent alors considérablement d'intensité et les photons commencèrent à se propager librement. Ce sont ces photons que l'on détecte aujourd'hui sous la forme du rayonnement du fond de ciel à 2,7 K. L'Univers devint ainsi transparent et entra dans *l'ère stellaire.* Les premières galaxies se sont vraisemblablement formées un à deux milliards d'années après le Big Bang, à partir de fluctuations locales de densité, sous l'effet conjugué de la gravitation et de l'expansion cosmique. Mais le mécanisme exact de leur formation reste incertain.

AGE DE L'UNIVERS. Paradoxalement, la théorie du Big Bang permet de décrire minutieusement les premiers instants qui suivirent l'explosion primordiale sans qu'on sache si ces phénomènes ont eu lieu il y a dix, quinze ou vingt milliards d'années. Faute de pouvoir mesurer avec une précision suffisante la distance des galaxies lointaines, on ne connaît encore qu'à un facteur 2 près la valeur de la constante de Hubble* qui fixe le rythme d'expansion de l'Univers. Certaines observations effectuées depuis 1994, tant au sol **qu**'à partir du télescope spatial Hubble, donnent à penser que l'Univers ne serait âgé que de 10 milliards d'années environ. Pourtant, par l'étude des étoiles des amas* globulaires, il semble que notre galaxie soit âgée d'au moins 15 milliards d'années. Cette contradiction pose un problème encore non résolu.

INFLATION ET MATIÈRE NOIRE. Pour rendre compte de certains faits d'observation que le modèle standard du Big Bang ne peut expliquer, entre autres l'homogénéité, l'isotropie et l'absence de courbure de l'Univers à grande échelle, l'Américain A. Guth et le Soviétique A. Linde ont introduit, au début des années 1980, le concept d'inflation, selon lequel l'Univers se serait brutalement dilaté d'un facteur 10^{50} (son volume étant ainsi multiplié par 10^{150}) entre 10^{-35} et 10^{-32} s après le Big Bang. Nous ne pourrions donc observer qu'une infime partie de l'Univers entier.

Le scénario de l'inflation n'est recevable que si la densité* de matière de l'Univers est très voisine de la densité critique. Compte tenu de la quantité de matière effectivement observée, il faut alors admettre que l'Univers renferme 100 fois plus de matière* noire que de matière lumineuse. 10 % seulement de cette matière noire peuvent être formés de baryons* ; les 90 % restants seraient des particules non baryoniques.

LES THÉORIES RIVALES. La théorie du Big Bang ne fait pas l'unanimité. Elle connaît quelques adversaires irréductibles. Ceux-ci réfutent l'idée d'une singularité initiale et considèrent comme fragiles et discutables les arguments observationnels avancés en sa faveur. Ils contestent notamment l'interprétation des décalages spectraux des galaxies vers le rouge par un mouvement de récession de ces objets lié à l'expansion de l'Univers : ils mettent en avant les nombreux spécimens de galaxies décelées par l'Américain H. Arp qui semblent reliées par des ponts de matière et qui présentent cependant des décalages spectraux très différents (dits « anormaux »). Certains adversaires du Big Bang avancent aussi que les quasars* ne sont pas des astres extrêmement lointains, mais des objets éjectés par des galaxies proches.

Le Britannique F. Hoyle, après s'être longtemps fait le champion de la théorie de l'état* stationnaire (ou de la création continue), finalement abandonnée parce qu'elle se révélait incapable d'expliquer le rayonnement du fond de ciel, a proposé en 1993 un nouveau modèle d'Univers sans commencement, dans lequel l'expansion de l'espace et l'apparition de matière nouvelle résulteraient d'une succession infinie de petites explosions localisées. Il reste cependant à trouver des preuves observationnelles convaincantes de cette théorie. Enfin, cer-

tains théoriciens tentent d'élaborer des modèles d'évolution de l'Univers qui ne s'inscrivent pas dans le cadre de la théorie de la relativité. L'Américain R. Dicke, notamment, a proposé une théorie selon laquelle la force de gravitation varierait au cours du temps.

ÉVOLUTION FUTURE DE L'UNIVERS. -• **Univers**

Big Bear (observatoire solaire). Observatoire solaire du *California Institute of Technology,* situé sur une île du lac Big Bear, en Californie, à 2 000 m d'altitude.

ENCYCL. Cet observatoire comprend trois instruments principaux : un télescope solaire de 65 cm de diamètre, associé à un spectrographe ; une lunette de 25 cm, équipée d'un magnétographe ; et une lunette de 15 cm pour la surveillance du disque solaire. Un autre instrument est utilisé pour des recherches d'héliosismologie*.

Big Bird. Type de satellite américain de reconnaissance.

ENCYCL. Satellite cylindrique long de 15 m pour un diamètre de 3 m, et d'une masse voisine de 11 t, le Big Bird, appelé aussi LASP *(Love Altitude Surveillance Platform),* est lancé par une fusée Titan-III D et placé sur une orbite basse d'environ 200 km de périgée et 300 km d'apogée qui lui procure une durée de vie opérationnelle de quelques mois. Manœuvrable, il accomplit deux types de mission de reconnaissance : d'une part, il photographie systématiquement de vastes superficies à l'aide de caméras à moyenne résolution, les clichés étant ensuite transmis au sol par radio ; d'autre part, il prend des photographies détaillées d'objectifs précis à l'aide de caméras à haute résolution (inférieure à 30 cm), ces images étant ensuite rapportées périodiquement sur la Terre par de petites capsules récupérables. Le Big Bird a constitué le principal type de satellite américain de reconnaissance des années 70. Le premier, lancé le 15 juin 1971, est resté 36 jours en orbite.

Big Crunch (loc. angl. signifiant *grand écrasement).* Ultime stade d'évolution d'un univers en phase de contraction gravitationnelle, que permet d'envisager la cosmologie relativiste.

ENCYCL. Si l'Univers est de type fermé, son expansion actuelle ralentira progressivement puis cessera et cédera la place à une phase de contraction, durant laquelle la densité et la température s'élèveront pour aboutir à des conditions analogues à celles qui régnaient lors du Big* Bang. La cosmologie* moderne permet d'envisager un modèle d'univers oscillant, qui subit alternativement des phases d'expansion et des phases de contraction.

Bigourdan (Guillaume), astronome français (Sistels, Tarn-et-Garonne, 1851 - Paris 1932).

Ses travaux portent sur les procédés d'observation et la mesure des positions des astres. Il contribua à l'organisation de la transmission des signaux horaires par TSF. On lui doit une méthode efficace pour la mise en station des instruments d'observation astronomique à monture équatoriale : on vise d'abord une étoile au méridien pour caler l'axe horaire dans le sens est-ouest ; on vise ensuite une étoile située à plus ou moins six heures du méridien, pour régler l'inclinaison de l'axe horaire dans le plan du méridien.

BIH. Sigle de Bureau* International de l'Heure.

binaire ni. Étoile double* physique. (On dit aussi *système binaire.) Binaire X :* binaire formée d'une étoile normale et d'une étoile effondrée ultradense (étoile à neutrons ou trou noir), qui constitue une source intense de rayonnement X.

ENCYCL. On distingue deux types de binaires X : certaines, comme Centaurus* X-3 ou Hercules* X-1, se signalent par des émissions de rayonnement X qui varient de façon très rapide et très régulière (pulsations X, d'une période de une à quelques secondes) ; d'autres, comme Scorpius* X-1, présentent, outre une émission persistante, de violentes bouffées de rayons X, durant lesquelles l'intensité du rayonnement est multipliée par dix ou plus. Les binaires X du premier type correspondent à des systèmes jeunes, dont la composante normale est une étoile bleue, lumineuse et massive (de 10 à 40 fois la masse du Soleil) ; celles du

second type, à des systèmes dans lesquels la composante non effondrée est une étoile âgée de faible masse (comparable à celle du Soleil).

Dans les binaires massives, le rayonnement X est émis par la matière arrachée à l'étoile bleue et tourbillonnant dans le disque d'accrétion qui entoure l'étoile à neutrons ou le trou noir. Il est reçu sous forme de pulsations par suite de l'inclinaison de l'axe du champ magnétique de l'étoile effondrée par rapport à l'axe de rotation de cette étoile. Ces binaires représentent une étape normale de l'évolution de systèmes formés par deux étoiles proches et dont la masse est supérieure à plusieurs masses solaires.

Dans les binaires de faible masse, l'émission persistante de rayonnement X provient, elle aussi, de la matière emprisonnée dans le disque d'accrétion de l'étoile effondrée, mais les bouffées de rayons X résultent de la fusion thermonucléaire du gaz accumulé à la surface de l'étoile à neutrons.

bioastronomie n.f. Partie de l'astronomie qui contribue à la recherche de la vie extraterrestre.

ENCYCL. Parmi les principales préoccupations de la bioastronomie figurent : l'étude de l'évolution des planètes* et de leur activité biologique éventuelle (en particulier, dans le système solaire, l'étude de Mars* et du principal satellite de Saturne, Titan*) ; la recherche de planètes autour d'autres étoiles que le Soleil ; la recherche de molécules d'intérêt biologique dans le cosmos ; la détection de signaux extraterrestres artificiels ; et la recherche de manifestations de civilisations extraterrestres avancées.

Un grand nombre de spécialistes pensent aujourd'hui que l'apparition de systèmes vivants sur la Terre a été l'aboutissement d'un long processus d'évolution chimique de la matière inerte. Les avancées récentes de la biochimie et de l'astronomie permettent d'envisager que ce processus, fondé sur la chimie du carbone (chimie organique), a pu aussi se dérouler ailleurs dans l'Univers.

Beaucoup d'objets extraterrestres se révèlent riches en substances organiques : les comètes*, certaines météorites*, l'atmosphère des grosses planètes du système solaire, le milieu interstellaire*, etc. L'étude approfondie d'une atmosphère comme celle de Titan devrait contribuer à une meilleure connaissance de la chimie prébiotique.

Par ailleurs, on a tout lieu de penser que la formation de planètes est un phénomène très répandu, une sorte de sous-produit naturel de la formation des étoiles. Notre galaxie pourrait donc, à elle seule, renfermer des milliards de planètes. Parmi celles-ci, il en est certainement qui, nées autour d'étoiles analogue au Soleil, ont connu une évolution comparable à celle de la Terre. La vie a pu alors s'y développer.

LA VIE EXTRATERRESTRE. Plusieurs conditions semblent indispensables à l'apparition et au développement, sur une autre planète, de la vie telle que nous la connaissons : il faut notamment que la planète ne soit ni trop chaude ni trop froide, c'est-à-dire qu'elle ne tourne ni trop près ni trop loin de son étoile ; qu'il y ait de l'eau liquide à sa surface ; et qu'elle soit enveloppée d'une atmosphère protectrice. La grande inconnue reste de savoir s'il suffit que ces conditions soient réunies pendant une durée assez longue pour que la vie apparaisse, ou si l'émergence de systèmes vivants exige la convergence d'un grand nombre d'autres facteurs encore mal appréhendés. Dans le premier cas, les sites abritant la vie doivent être très nombreux ; dans le second, ils peuvent être très rares.

Les données de l'exploration spatiale laissent peu d'espoir de découvrir la vie sur d'autres astres du système solaire que la Terre ; Mars pourrait néanmoins avoir abrité jadis des formes de vie très primitives. En revanche, la possibilité d'existence d'êtres intelligents sur des planètes tournant autour d'autres étoiles que le Soleil (planètes extrasolaires) n'est pas exclue. Malheureusement, dans l'état actuel de la technique, les voyages interstellaires restent du domaine du rêve : il faudrait des dizaines ou des centaines de milliers d'années à un engin spatial pour atteindre les étoiles les plus proches. Il est donc hors de question d'aller à la rencontre d'autres êtres intelligents.

Mais on peut espérer déceler la présence de civilisations ayant atteint un développement technologique comparable au nôtre, en captant des signaux électromagnétiques émis par ces civilisations, l'une des principales

difficultés résidant toutefois dans le choix de la direction et des fréquences d'écoute : toutes les expériences menées jusqu'à présent (-• **Ozma, SETI)** sont restées vaines.

Biocosmos. Satellites russes porteurs d'expériences biologiques, réalisées en coopération internationale, lancés en moyenne tous les deux ans depuis 1973. Leur récupération intervient après un séjour de deux ou trois semaines dans l'espace.

biologie spatiale. Science qui étudie l'influence de l'environnement spatial, essentiellement l'impesanteur et le rayonnement cosmique, sur les organismes vivants.
ENCYCL. Il n'était pas pensable d'envoyer des hommes dans l'espace sans avoir, au préalable, soumis divers représentants du monde vivant à cet environnement hostile et très mal connu afin d'en évaluer les dangers : des chiens et des singes (au système cardio-vasculaire assez proche du nôtre) précédèrent les premiers cosmonautes. La petite chienne Laïka fut le premier animal placé en orbite terrestre (novembre 1957).
La biologie spatiale exploite trois types de véhicules :
- les ballons, capables de se maintenir de quelques heures à plusieurs jours entre 20 et 40 km d'altitude, là où le rayonnement cosmique est plus intense qu'au sol tandis que la pesanteur est inchangée ;
- les fusées-sondes, qui propulsent leur charge utile à plusieurs centaines de kilomètres d'altitude et l'exposent à plusieurs minutes (quinze au maximum) d'impesanteur ;
- les satellites artificiels, habités ou automatiques, dont le maintien en orbite peut varier de quelques jours à plusieurs années (mais pas plus d'un mois pour les satellites biologiques automatiques).
La liste des espèces vivantes soumises à l'expérimentation spatiale est d'une grande richesse. Citons pêle-mêle :
- dans le règne végétal (sous forme de graines, de plantes ou de feuilles) : le haricot, le cresson, le maïs, le blé, l'orge, la carotte, le tabac, la lentille, etc. ;
- dans le règne animal : des bactéries, des paramécies, des cultures cellulaires variées, des œufs (de poisson, de crevette, de caille, de drosophile...), un caméléon, des souris, des grenouilles, des rats, des abeilles, des araignées, des poissons, des méduses, des tortues, des chats, des singes, des chiens, etc.

Biorack. 1. Programme de recherches en biologie spatiale de l'Agence spatiale européenne. 2. Appareil à usages multiples (doté d'incubateurs, d'un réfrigérateur, d'un congélateur, de centrifugeuses, d'un microscope, d'une caméra, etc.) conçu pour l'examen de divers échantillons biologiques (cellules, insectes, plantes...) dans le cadre de ce programme.
ENCYCL. L'appareil Biorack a séjourné pour la première fois dans l'espace à l'automne 1985 (mission Spacelab Dl). Deux autres vols ont eu lieu en janvier 1992 (mission IML 1) et en juillet 1994 (mission IML 2). D'autres vols sont prévus.

Biot (Jean-Baptiste), astronome et physicien français (Paris 1774 - 1862). En géodésie, il poursuivit avec Arago, aux Baléares, la mesure d'un arc du méridien de Paris (1806). En géophysique, il étudia les aurores polaires (1828), la constitution de l'atmosphère (1841), et détermina les valeurs du champ de la pesanteur sous diverses latitudes. En astronomie, il fut le premier à démontrer l'origine céleste des météorites après examen d'échantillons bien authentifiés recueillis à la suite de la chute de météorites survenue près de Laigle (aujourd'hui L'Aigle), dans l'Orne, le 26 avril 1803.

Biourakan (observatoire de). Observatoire d'astrophysique de l'Académie des sciences de la république d'Arménie, fondé en 1946 à l'initiative de V. Ambartsoumian, sur la pente méridionale de l'Aragats, à 1 500 m d'altitude, à 40 km au nord d'Erevan. Son principal instrument est un télescope de 2,60 m d'ouverture, mis en service en 1976.

bipolaire adj. Se dit du flux de gaz qu'éjecte dans deux directions opposées une étoile nouvellement formée.
ENCYCL. Le flux émerge du centre du disque d'accrétion de l'étoile et reste confiné le long de l'axe de rotation. Éjecté à des vitesses de l'ordre de 200 km/s, il repousse la matière

interstellaire qu'il rencontre et provoque ainsi la formation, au-dessus de chaque pôle, d'une enveloppe de matière qui s'étend jusqu'à 1 année de lumière environ de l'étoile.

Biruni (al-), savant de l'Islam médiéval (Kath 973 - Rhazni ? apr. 1050). Essentiellement mathématicien et astronome, il écrivit de nombreux ouvrages, notamment le *Kitab al-Qanun al-Mas'udi,* traité d'astronomie en onze volumes, dédié au sultan Mas'ud. En compilant les travaux de ses prédécesseurs, il corrigea un grand nombre d'erreurs théoriques ou expérimentales. Bien qu'il ne se soit pas formellement écarté de la cosmologie géocentrique universellement admise au Moyen Âge, il n'ignorait pas l'hypothèse de l'héliocentrisme (formulée par certains astronomes grecs comme Aristarque de Samos) et soutint toujours qu'elle n'était nullement en contradiction avec les lois astronomiques. Il mesura la circonférence de la Terre, étudia les éclipses de Soleil, décrivit les diverses phases de l'aurore et du crépuscule, et dressa un catalogue donnant les positions de 1 029 étoiles.

BIS. Sigle de *British* Interplanetary Society.*

bissextile adj. *Année bissextile :* année de 366 j, dont le mois de février comporte 29 j.
ENCYCL. Les années bissextiles sont celles dont le millésime est divisible par 4 ; toutefois, depuis la réforme grégorienne du calendrier, la dernière année de chaque siècle n'est bissextile que si son millésime est divisible par 400 : 1700, 1800 et 1900 n'ont pas été bissextiles, mais 2000 le sera.

Blaauw (Adriaan), astronome néerlandais (Amsterdam 1914).
Ses principales recherches ont porté sur les associations stellaires O-B (formation, structure, contenu stellaire, évolution). Il fut directeur général de l'ESO (1970-1975) et président de l'Union astronomique internationale (1976-1979).

black-out n.m. Interruption momentanée de la réception des signaux émis par un engin spatial, lors de son passage derrière un astre ou de sa rentrée dans l'atmosphère.

blazar n.m. (mot angl. forgé à partir de *to blaze,* flamboyer, par analogie avec *quasar).* Quasar ou galaxie à noyau actif qui constitue une source intense de rayonnement gamma.
ENCYCL. Les blazars émettent sous forme de rayonnement gamma une énergie plusieurs milliers de fois supérieure à celle qu'émet notre galaxie sur tout le spectre électromagnétique. Cette intensité s'expliquerait par le fait que le rayonnement se concentre en un faisceau étroit, dirigé vers la Terre.
Suivant l'hypothèse la plus couramment admise, les noyaux actifs de galaxies abritent un trou noir supermassif. La fantastique énergie émise par ces noyaux provient de la matière très chaude qui s'accumule dans un disque d'accrétion autour du trou noir. Dans certains cas, des particules élémentaires chargées sont éjectées perpendiculairement au disque, à des vitesses proches de celle de la lumière. Dans ces jets, confinés magnétiquement, des photons de basse énergie heurteraient fréquemment des électrons très rapides. Les photons gagneraient alors suffisamment d'énergie pour devenir des photons gamma, qui s'aligneraient avec les particules du faisceau. Lorsque leur focalisation aurait lieu en direction de la Terre, on observerait un blazar.

blink (microscope). Synonyme de *comparateur* à clignotement.*

BNSC (sigle de *British National Space Centre,* Centre national britannique de l'espace). Agence spatiale du Royaume-Uni, créée en 1985 pour coordonner l'ensemble des activités spatiales civiles du Royaume-Uni.
ENCYCL. En 1995, le budget de la BNSC est de 180,5 millions de livres (environ 1,5 milliard de francs). La contribution à l'Agence* spatiale européenne représente 57 % de cette somme, mais ne constitue que 7,5 % du budget de l'ESA. Le programme national britannique est consacré à 71 % à la télédétection.

Bode (Johann Elert), astronome allemand (Hambourg 1747 - Berlin 1826). Autodidacte, il acquit la célébrité en publiant à l'âge de 19 ans une *Introduction à l'astronomie* qui connut un grand succès populaire et bé-

néficia de nombreuses rééditions pendant près d'un siècle. En 1772, il fit connaître une relation empirique donnant approximativement les distances relatives au Soleil des planètes principales du système solaire (-• **Titius*-Bode [loi de]).** En 1786, il devint directeur de l'observatoire de Berlin. On lui doit des tables astronomiques et deux atlas célestes (l'un de 17 000 étoiles).

Bode (loi de) **Titius-Bode (loi de)**

Boeing Company. Société de constructions aéronautiques et spatiales américaine, fondée en 1916 par William E. Boeing (1881-1956).
ENCYCL. L'ensemble de son domaine industriel est concentré dans ses usines de Renton, Seattle et Wichita. Boeing est le plus grand constructeur aéronautique du monde. C'est le principal contractant de la Station* spatiale internationale.

Boîte à bijoux (la). Amas stellaire ouvert NGC 4755, dans la constellation de la Croix du Sud, au sud-est de l'étoile p *Cru.*
ENCYCL. C'est l'amas ouvert le plus spectaculaire du ciel austral. Repéré en 1753 par La Caille qui le prit pour une étoile, il doit son nom à j. Herschel qui, le premier, le résolut en étoiles. Il est constitué principalement d'étoiles géantes et supergéantes bleues, dont la luminosité atteint jusqu'à 80 000 fois celle du Soleil. Son étoile la plus brillante est **K** *Cru,* de magnitude 6.
Cet amas s'étend sur 50 armées de lumière de diamètre et il est situé à une distance de 7 800 années de lumière.

Bok (Bart Jan), astronome néerlandais naturalisé américain en 1938 (Hoom 1906 - Tueson, Arizona, 1983).
Il a particulièrement étudié la structure spirale de la Galaxie, en s'efforçant de concilier les résultats obtenus par les observations optiques et ceux fournis parles observations radio. En 1947, il découvrit les globules* qui portent à présent son nom et, Te premier, il suggéra que ceux-ci pouvaient être des étoiles en formation.

bolide n.m. Météore brillant offrant l'aspect d'une boule de feu.

bolomètre n.m. Appareil à résistance électrique servant à mesurer l'énergie rayonnante (infrarouge, visible et ultraviolet).

Bond (George Philipps), astronome américain, fils du précédent (Dorchester, Massachusetts, 1825 - Cambridge, Massachusetts, 1865).
II a introduit la notion d'albédo* et découvert l'un des satellites de Saturne, Hypérion (1848), ainsi que le troisième anneau de la planète, dit « anneau de crêpe » (1850).

Bond (William Cranch), astronome américain (Portland, Maine, 1789 - Cambridge, Massachusetts, 1859).
Il fut directeur de l'observatoire de Harvard et l'un des premiers à appliquer la photographie à l'astronomie. **astrophotographie**

Bonestell (Chesley), dessinateur et peintre américain (1888-1986).
Il travailla d'abord pour différents architectes puis, à partir de 1938, pendant une dizaine d'années, pour l'industrie cinématographique, en peignant des panneaux pour effets spéciaux. Mais il reste célèbre surtout pour les illustrations très réalistes que lui ont inspirées l'astronomie et l'exploration spatiale. Il illustra notamment, entre 1952 et 1954, une série d'articles sur l'avenir du vol spatial, dont l'auteur principal était W. von Braun*, et le réalisme de ses œuvres contribua à convaincre les responsables politiques américains que l'exploration de l'espace était techniquement réalisable et méritait d'être largement subventionnée. Son nom a été donné à l'astéroïde 3129.

Bonner Durchmusterung (BD). Catalogue d'étoiles établi à l'observatoire de Bonn, sous la direction de F.W.A. Argelander.
ENCYCL. Le catalogue initial, préparé à partir de 1852 et publié entre 1859 et 1868 par Argelander, donne la position et la magnitude apparente visuelle de 324 198 étoiles plus brillantes que la magnitude 9,5 et situées entre le pôle céleste nord et - 2° de déclinaison. Après le décès d'Argelander, ce catalogue a été étendu aux déclinaisons australes. E. Schônfeld a publié en 1886 le *Southern Durchmusterung,* recensant 133 659

étoiles supplémentaires, situées entre - 2° et - 22° de déclinaison. Ce travail a été lui-même complété ultérieurement par le catalogue de Cordoba (-> **Cordoba Durchmusterung),** établi à partir d'observations effectuées dans l'hémisphère Sud.

Bonum 1. Premier satellite russe construit et lancé par les États-Unis le 22 novembre 1998. Il doit servir à la télévision directe en Russie occidentale.

Boo. Abréviation de *Bootes,* désignant la constellation du Bouvier.

booster n.m. (mot angl.) Synonyme de propulseur d'appoint.

Bootes (-is) Nom latin de la constellation du Bouvier (abrév. *Boo).*

bord n.m. Pourtour du disque d'un astre à diamètre apparent sensible : Soleil, Lune, planète.

boréal, e adj. Du Nord, *austral.*

bouclier spatial. Ensemble des moyens spatiaux destinés à assurer la défense militaire d'un pays : satellites de communications, satellites d'observation et, dans le cadre de l'ex-Initiative* de défense stratégique (IDS), satellites de détection de lancement de missiles, satellites de destruction des missiles en vol ou de destruction de satellites en orbite. Le bouclier spatial a pour rôle de rendre invulnérable aux attaques nucléaires par missiles le territoire à défendre.

bouclier thermique. Dispositif présent sur certains engins spatiaux (capsules récupérables, sondes interplanétaires...) afin de les protéger lors de la traversée, à grande vitesse, d'une atmosphère gazeuse : il absorbe l'énergie calorifique produite par échauffement cinétique.

Bourane (en russe, *tempête de neige).* Nom des orbiteurs de la navette spatiale russe.
ENCYCL. Le premier exemplaire, Bourane 1, n'a effectué qu'une seule mission : le 15 novembre 1988, propulsé par le lanceur Energia*, il accomplit deux révolutions autour de la Terre, en mode automatique, sans équipage à bord. Le deuxième exemplaire, Bourane 2, n'a jamais volé.

Bourget (Le). Chef-lieu de la Seine-Saint-Denis, dans la banlieue nord-est de Paris.
ENCYCL. L'aérodrome du Bourget, créé au début de la Première Guerre mondiale, a longtemps été le principal aéroport parisien. Il abrite aujourd'hui le musée de l'Air et de l'Espace et est le siège, tous les deux ans (années impaires), d'un Salon international de l'aéronautique et de l'espace.

Boussole (en latin *Pyxis, -idis).* Petite constellation australe, au N. des Voiles, introduite par La Caille en 1752, en même temps que la Machine pneumatique et le Compas, pour compléter l'équipement du Navire. Elle ne renferme que des étoiles peu brillantes, dont les plus lumineuses sont de magnitude 4.

Bouvard (Alexis), astronome français (Les Contamines - Monjoie auj. Haute-Savoie, 1767 - Paris 1843).
Autodidacte, placé comme domestique à Paris à l'âge de 18 ans, il acheva sa carrière comme directeur de l'Observatoire de Paris, de 1822 à 1843. Il découvrit 8 comètes et calcula les éléments de leurs orbites. En mécanique céleste, il établit de *Nouvelles Tables des planètes Jupiter et Saturne* (1808) et des tables d'Uranus (1821). Ayant constaté un désaccord entre le mouvement réel d'Uranus et celui que lui assignaient les lois de la mécanique, en tenant compte des perturbations dues aux autres planètes connues, il émit l'idée de l'existence d'une autre planète perturbatrice restant à découvrir, qui fut ensuite reprise avec succès par Le Verrier.

Bouvier (en latin *Bootes, -is).* Constellation boréale située dans le prolongement de la queue de la Grande Ourse.
ENCYCL. Son étoile la plus brillante est Arcturus*. Elle renferme de nombreuses étoiles doubles, dont plusieurs sont séparables avec de petits instruments : en particulier, e *Boo,* de magnitude apparente 2,3, observée avec une lunette de 80 mm d'ouverture, se décompose en deux étoiles distantes de 3", l'une jaune-orangé, de magnitude 2,5, l'autre

bleue, de magnitude 5. W. Struve, à qui l'on doit la découverte de cette étoile double en 1829, l'appelait *Pulcherrima* (« la plus belle »). En 1981, on a découvert dans cette constellation une zone d'environ 300 millions d'années de lumière de large (à des distances comprises entre 750 et 1 050 millions d'années de lumière), pratiquement dépourvue de galaxies : le « vide du Bouvier ».

Bradbury (Raymond Douglas dit Ray), écrivain américain (Waukegan, Illinois, 1920).
L'un des premiers auteurs de science-fiction à avoir été publié hors des magazines spécialisés, il a établi sa réputation avec les *Chroniques martiennes* (1950) : il s'agit d'un ensemble de nouvelles racontant les diverses tentatives des Terriens à l'aube du XXIe siècle pour coloniser la planète Mars, mais ce thème général n'est qu'un prétexte pour une réflexion sur la solitude, l'apparence et la mort. Les humains débarquent avec leurs préjugés sur la « planète rouge », dont les habitants quasi inaccessibles oscillent constamment entre le rêve et la réalité.

Bradley (James), astronome anglais (Sherborne, Gloucestershire, 1693 - Chalford, Gloucestershire, 1762).
On lui doit la découverte de l'aberration* de la lumière (1727) et celle de la nutation* de l'axe terrestre (1748), ainsi qu'une formule empirique de la réfraction atmosphérique et des tables des mouvements des satellites de Jupiter. Il succéda à Halley comme Astronome Royal, directeur de l'observatoire de Greenwich (1742-1762).

Brahe (Tycho), astronome danois (Knudstrup 1546 - Prague 1601).
Issu d'une famille de l'aristocratie danoise, il fut attiré dès son jeune âge par l'astronomie et se consacra définitivement aux observations célestes à la suite de l'apparition, en 1572, d'une brillante étoile temporaire, en fait une supernova*. Celle-ci le remplit de stupeur, car elle venait contredire la théorie, admise depuis Aristote, de l'immutabilité des cieux. Il parvint cependant à montrer, par des mesures précises, que l'objet était bien une étoile, très lointaine puisque dépourvue de parallaxe sensible, et non un simple météore. Ce phénomène spectaculaire lui donna l'idée, comme à Hipparque dix-huit siècles auparavant, d'établir un catalogue précis d'étoiles. Il put réaliser cette ambition grâce à la libéralité du roi de Danemark, Prédéric II, qui lui fit don, en 1576, de l'île de Hveen, dans le Sund, près de Copenhague, et lui accorda une pension. Tycho Brahe s'empressa alors de faire édifier au centre de l'île un grand observatoire, *Uraniborg* (le « palais d'Uranie »), qu'il équipa des instruments les plus grands et les plus précis de l'époque. Puis, en 1584, il aménagea, à proximité du précédent, un second observatoire, *Stellaeborg* (le « palais des étoiles »), où les instruments, protégés par des coupoles amovibles, étaient installés en sous-sol pour être à l'abri des vents violents qui balaient souvent l'île. En plus de ses deux observatoires, qui préfigurent les grands établissements modernes, Tycho Brahe disposait d'un atelier pour ses instruments, d'une papeterie et d'une imprimerie pour la publication des résultats de ses recherches et de celles de ses nombreux élèves. Pendant plus de vingt ans, jusqu'en 1597, Tycho Brahe accumula ainsi des milliers d'observations. Grâce à lui, les observations astronomiques atteignirent leur plus haut degré de précision avant l'invention de la lunette : pour la première fois, les mesures d'angle atteignirent une précision de l'ordre de 0,3' et furent corrigées de la réfraction atmosphérique. Parmi ses découvertes figurent : la variation de l'obliquité de l'écliptique ; deux inégalités du mouvement de la Lune, la variation et l'équation annuelle ; la variation de l'inclinaison de l'orbite lunaire sur l'écliptique, etc. En 1577, ses observations d'une comète brillante lui permirent d'établir que celle-ci n'était pas un phénomène atmosphérique, contrairement à l'opinion admise depuis Aristote, mais un astre situé au-delà de la Lune. Enfin, il a laissé un catalogue de 777 étoiles. Ses observations précises du mouvement de la planète Mars permirent, après sa mort, à son disciple Kepler* d'énoncer les lois du mouvement des planètes. Brillant observateur, Tycho Brahe fut beaucoup moins inspiré comme théoricien. Récusant l'héliocentrisme, pour des raisons à la fois physiques et métaphysiques, il rejeta le système de Copernic, sans pour autant admet-

tre celui de Ptolémée, dont il connaissait les insuffisances : il proposa un système hybride, dans lequel les planètes tournent autour du Soleil, celui-ci tournant lui-même autour de la Terre avec son cortège planétaire.
À'la mort de son protecteur, Frédéric II (1588), sa pension fut supprimée et il tomba en disgrâce. En 1597, il dut quitter le Danemark et, en 1599, il se réfugia à Prague, comme astronome de l'empereur d'Autriche, Rodolphe II. Adolescent, il se battit en duel ; d'un coup d'épée, son adversaire lui trancha le nez : Tycho Brahe se fit alors confectionner une prothèse en or et en argent qu'il porta toute sa vie.

bras cryogénique. Bras articulé qui supporte les connexions ombilicales permettant le remplissage ou la vidange en ergols cryotechniques des réservoirs d'un lanceur.

bras spiral. Partie du disque d'une galaxie spirale émanant du bulbe et s'enroulant en spirale, dans laquelle se concentrent la matière interstellaire et les étoiles les plus jeunes. On explique la structure des bras par la théorie des ondes* de densité.

bras télémanipulateur. Dispositif articulé fixé le long de la paroi bâbord de la soute de l'orbiteur de la navette spatiale américaine, commandé depuis la cabine de pilotage et qui permet le déploiement ou la récupération de charges utiles ou l'assistance à l'activité extravéhiculaire des astronautes.
ENCYCL. Réalisé par la firme canadienne Spar Aerospace, le bras télémanipulateur de la navette américaine pèse 360 kg et mesure 15,2 m de long. Il comporte trois articulations qui lui donnent six degrés de liberté. Des caméras de télévision permettent sa commande à partir d'une console située au niveau du pont supérieur de l'habitacle, près d'un hublot donnant sur la soute.

Brasilsat. Famille de satellites brésiliens de télécommunications intérieures lancés depuis 1985.

Braun (Wernher von), ingénieur allemand, naturalisé américain (Wirsitz, auj. Wyrzysk, Pologne, 1912-Alexandria, Virginie, 1977).
Il étudie aux instituts technologiques de Zurich et de Berlin, puis à l'université de Berlin, tout en consacrant ses loisirs, à partir de 1930, à construire de petites fusées expérimentales au sein d'une équipe réunie par Hermann Oberth. En 1932, il se voit confier la station de Kummersdorf-West, où il entreprend, pour le compte de l'armée allemande, une série d'expériences sur les moteurs-fusées. Parallèlement, il écrit une thèse de doctorat sur la propulsion des fusées (1934). Nommé, en 1937, directeur technique du nouveau centre d'essais de fusées de Peenemünde, il assure la mise au point du V2, dont plus de 4 000 exemplaires seront lancés, principalement sur la Grande-Bretagne et les Pays-Bas, en 1944 et 1945.
Après sa reddition, avec la plupart de ses collaborateurs, à l'armée américaine, à la fin de la Seconde Guerre mondiale, il est emmené aux États-Unis, où il est d'abord nommé chef des projets de missiles guidés de l'armée, au centre de Fort-Bliss (Texas). Directeur technique de l'Arsenal Redstone à Huntsville (Alabama) pour la mise au point des missiles guidés, à partir de 1950, il est à l'origine de la fusée Redstone, qui sera le premier missile balistique guidé de l'armée américaine et assurera, en 1961, le lancement dans l'espace des premiers astronautes américains. Naturalisé américain en 1955, il devient, en 1956, directeur des recherches de l'Agence pour les missiles balistiques de l'armée américaine. A ce titre, il assure la mise au point des missiles Pershing et Jupiter et prend une part décisive à la préparation du lancement du premier satellite artificiel américain, Explorer 1 (1958).
En 1960, il entre à la NASA et devieiit, dès lors, l'un des principaux artisans du programme spatial américain. A la tête du centre de vol spatial Marshall de 1960 à 1970, il dirige la construction de la fusée Saturn V, la plus grande du monde, qui permet, à partir de 1969, l'envoi d'astronautes sur la Lune. Nommé, en 1970, administrateur adjoint de la NASA, responsable des programmes, il quitte ce poste en 1972, alors que s'achève le programme Apollo d'exploration de la Lune, pour entrer comme directeur adjoint à la société Fairchild Industries. En 1977, il décède des suites d'un cancer du foie.

bremsstrahlung ni. (mot allemand, de *Bremsen,* freinage, et *Strahlung,* rayonnement). Synonyme de rayonnement de freinage.

brillance n.f. Synonyme ancien de luminance.

British Aerospace (Space Systems). Société britannique de construction aérospatiale.
ENCYCL. Son siège est à Stevenage (Hertfordshire). Elle a, notamment, été maître d'ceuvre de tous les programmes de satellites de télécommunications de l'Agence spatiale européenne (OTS, Marées, ECS, Olympus), de la sonde spatiale Giotto et des panneaux solaires du télescope spatial Hubble. En 1994, elle a cédé ses activités spatiales à Matra*-Marconi Space.

British Astronomical Association (BAA). Association britannique, fondée à Londres en 1890, pour populariser l'astronomie et encourager les travaux des astronomes amateurs.
ADRESSE : Burlington House, Piccadilly, London W1V 9AG.

British Interplanetary Society (BIS). Association britannique fondée en 1933 pour promouvoir l'intérêt populaire en faveur de l'exploration de l'espace. Elle a contribué à la fondation de la Fédération* internationale d'astronautique.
ADRESSE : 27-29 South Lambeth Road, London SW8 1SZ.

Brooks (William Robert), astronome américain d'origine anglaise (Maidstone, Kent, 1844 - Geneva, New York, 1921).
Observateur assidu du ciel, il découvrit 27 comètes, à partir de 1881.

Brown (Emest William), astronome anglais (Hull, Yorkshire, 1866 - New Haven, Connecticut, É-U., 1938).
Il s'est surtout occupé de mécanique céleste. On lui doit une nouvelle théorie du mouvement de la Lune. En l'établissant, il découvrit l'irrégularité du mouvement de rotation de la Terre *(1926).*

bruit n.m. Perturbation aléatoire se superposant à un signal utile. En astronomie, les signaux reçus sont souvent très faibles et difficiles à séparer du bruit de fond dû au récepteur utilisé et à la nature du signal capté.

BS (sigle de *Broadcasting Satellite).* Série de satellites japonais de radiodiffusion.
ENCYCL. Inaugurée en 1978 par le lancement d'un engin expérimental, cette série s'est poursuivie avec les satellites BS 2 (1984-1990), BS 3 (1990-1994) et BSAT 1 (1997-1998).

bulbe n.m. Partie centrale, renflée, d'une galaxie spirale.

Bureau des longitudes (BDL). Organisme scientifique français, institué en 1795 par la Convention nationale, en vue du perfectionnement des diverses branches de l'astronomie et de leurs applications à la géographie, à la navigation et à la physique du globe. **Institut de mécanique céleste**
ADRESSE : 77, avenue Denfert-Rochereau, 75014 Paris.

Bureau international de l'heure (BIH). Ancien organisme qui avait la responsabilité de la mesure du temps à l'échelle internationale.
ENCYCL. Créé en 1911 et installé à l'Observatoire de Paris, il comprenait deux sections : l'une, chargée de l'élaboration de l'échelle du temps* atomique international, a été transférée en 1985 au Bureau international des poids et mesures ; l'autre, chargée de la détermination de la rotation terrestre, est devenue en 1988 le Bureau central du Service international de la rotation terrestre, qui reste implanté à l'Observatoire de Paris.

Burin (en latin *Caelum, -ī).* Petite constellation australe introduite par La CaiEe en 1752, entre la Colombe à l'est et l'Éridan et l'Horloge à l'ouest. Elle ne renferme que des étoiles peu brillantes, dont les plus lumineuses ont une magnitude comprise entre 4 et 5.

C

C Ma. Abréviation de *Canis Major,* désignant la constellation du Grand Chien.

C Mi. Abréviation de *Canis Minor,* désignant la constellation du Petit Chien.

C Vn. Abréviation de *Canes Venatici* désignant la constellation des Chiens de Chasse.

cadran solaire. Surface portant des divisions correspondant aux heures du jour et sur lesquelles le soleil projette successivement l'ombre d'un style.
ENCYCL. L'art de la construction des cadrans solaires constitue la gnomonique. Les premiers cadrans solaires (gnomons*) sont apparus dans l'Antiquité en Égypte et en Grèce.

Cae. Abréviation de *Caelum,* désignant la constellation du Burin.

cselostat n.m. **cœlostat**

Caelum (-i). Nom latin de la constellation du Burin (abrév. *Cae).*

calendrier n.m. Échelle de temps permettant le repérage et le décompte des jours pour les besoins de la vie civile ou religieuse, et pour ceux de la chronologie.
ENCYCL. Les calendriers solaires sont fondés sur la durée de l'année* tropique et les calendriers lunaires, sur celle de la lunaison*. Les calendriers luni-solaires, combinaison des deux précédents, sont construits sur l'année et le mois : tel est le cas du calendrier actuel utilisé à l'échelle internationale.
LE CALENDRIER JULIEN. Adopté à Rome en 46 av. J.-C., sous le consulat de Jules César, il se fonde sur une durée de l'année tropique égale à 365,25 j. Il se compose de suites identiques de quatre années, dont trois de 365 j, dites « communes », suivies d'une de 366 j, « bissextile ». À1 'époque où il fut institué, l'année commençait aux calendes de mars, et le jour supplémentaire était ajouté entre le 6e et le 5e jour précédant cette date. Portant le nom de *bis sextus dies ante calendas Martii,* il est à l'origine du mot « bissextile ». Les mois étaient déjà ceux que nous utilisons aujourd'hui, mais septembre, octobre, novembre et décembre étaient bien les 7e, 8e, 9e, et 10e mois de l'année. En décidant de ramener au 1er janvier le début de l'année, Jules César a détruit la concordance entre le nom de ces mois et leur position dans l'année.
LE CALENDRIER GRÉGORIEN. Institué en 1582 par le pape Grégoire XIII, il a modifié le précédent par la suppression de 3 jours en 4 siècles, la dernière année de chaque siècle, dite « année séculaire », devenant commune lorsque son millésime n'est pas divisible par 400 : ainsi, 1700, 1800 et 1900 n'ont pas été bissextiles, mais 2000 le sera. Avec cette réforme, la durée moyenne de l'année s'est trouvée ramenée à 365,242 5 j, soit une valeur qui ne diffère de la valeur idéale que de 3/10 000 de jour environ (3 j en 10 000 ans). Cependant, pour annuler le décalage que l'imperfection du calendrier julien avait progressivement produit sur la date des saisons (le calendrier situait l'équinoxe de printemps 10 j trop tôt), Grégoire XIII décida de supprimer 10 quantièmes dans la chronologie : à Rome, le lendemain du jeudi 4 octobre 1582 fut le vendredi *15* octobre. En France, le

9 décembre 1582 fut suivi du 20 décembre. Le calendrier grégorien n'a été adopté en Grande-Bretagne qu'en 1752, en URSS en 1918 et en Grèce en 1923. Son usage est désormais universel pour la vie civile. Cependant, pour la chronologie des phénomènes astronomiques, on utilise toujours l'ère julienne*.

LES CALENDRIERS RELIGIEUX. Parmi les calendriers utilisés à des fins religieuses, on peut citer :

- le calendrier liturgique catholique, qui s'articule autour de la date de la fête de Pâques*, dont la détermination fait l'objet du comput* ecclésiastique ;
- le calendrier musulman, dont l'origine est l'hégire (vendredi 16 juillet 622) et qui comporte une suite d'années de 12 mois lunaires de 29 ou de 30 j, au total 354 j (années communes) ou 355 j (années abondantes) ; 30 années, dont 19 communes et 11 abondantes, forment un cycle complet qui se répète indéfiniment. La durée moyenne de l'année sur ce cycle est de 354,37 j seulement ;
- le calendrier israélite (ou hébraïque), dont l'origine est celle de l'ère judaïque (3761 av. J.-C., année supposée de la création du monde) et qui comporte des années communes de 12 mois lunaires et d'autres, dites « embolismiques » de 13. Un cycle de 19 années (12 communes et 7 embolismiques) ramène le début de l'année à la même date solaire. Sur un tel cycle, la durée moyenne de l'année est de 365,246 8 j.

Caliban. Nom d'un héros de *La Tempête* de W. Shakespeare, proposé pour le satellite d'Uranus 1997 U1 (Uranus XVI). Demi-grand axe de son orbite : 7 168 900 km. Période de révolution sidérale : 579 j. Diamètre : 60 km.

Californie (Institut de technologie de). Établissement d'enseignement supérieur et de recherche situé à Pasadena (Californie), fondé en 1891 sous le nom de *Throop Polytechnic Institute* et qui a pris en 1920 son nom actuel, souvent abrégé en Caltech.

ENCYCL. Il est l'un des deux partenaires (l'autre étant l'université de Californie) de l'association qui gère les télescopes Keck*. Il administre également le télescope Haie* de 5,08 m d'ouverture de l'observatoire du mont Palomar et un radiotélescope de 10,4 m de diamètre consacré à l'astronomie submillimétrique sur le Mauna* Kea, à Hawaii.

Californie (nébuleuse). Nébuleuse à émission NGC 1499, dans la constellation de Persée, dont la forme évoque celle de l'État américain du même nom. Elle borde une nébuleuse obscure et est éclairée par l'étoile *î, Persei.*

Callippos ou **Calippos,** astronome grec (Cyzique début du ive s. av. J.-C.). Disciple d'Eudoxe, il poursuivit ses travaux et dirigea l'école d'astronomie qu'il avait fondée à Cyzique. Il corrigea le cycle de Méton*.

Callisto. Satellite de Jupiter (n° IV), découvert par Galilée le 13 janvier 1610. Demi-grand axe de son orbite : 1 883 000 km. Période de révolution sidérale : 16,689 j. Diamètre : 4 806 km. Densité moyenne : 1,85.

ENCYCL. Comme pour Ganymède*, les données de la spectroscopie infrarouge montrent que ce satellite est un mélange de glace d'eau et de roches plus denses. Sa surface, révélée par les sondes Voyager en 1979, et par la sonde Galileo depuis 1997, est très sombre et se caractérise par la présence de très nombreux cratères d'impact. L'abondance de cratères indique que cette surface est très ancienne. Toutefois, on observe relativement peu de petits cratères, ce qui suggère l'existence d'un processus (encore inconnu) d'érosion permanente et de remodelage de la surface. Le trait du relief le plus spectaculaire est une structure circulaire de 600 km de diamètre, Valhalla, issue de la fusion de la glace provoquée par l'impact d'un astéroïde ; celui-ci a également engendré une série de fractures disposées en cercles concentriques sur plus de 3 000 km autour du cratère.

Les nouvelles données fournies par la sonde Galileo concernent essentiellement la structure interne du satellite. Les mesures du champ de gravité déduites de l'étude précise de la trajectoire de la sonde suggèrent que Callisto n'est pas constitué d'un mélange homogène de glace et de roches mais pré-

sente une structure partiellement différenciée. Par ailleurs, Galileo a révélé que l'intense champ magnétique de Jupiter induit à l'intérieur de Callisto des courants électriques qui engendrent à leur tour un champ magnétique secondaire. Cette découverte a constitué une surprise : on peut l'expliquer en admettant qu'il existe un océan d'eau salée à une centaine de kilomètres au-dessous de la surface.

calme adj. *Soleil calme* **activité solaire**

caloduc n.m. Élément d'un engin spatial servant au transport de chaleur, soit pour évacuer celle produite par un équipement jusqu'aux radiateurs chargés de la dissiper (par rayonnement) dans l'espace, soit pour uniformiser sa température.

Caloris Planitia. Grand bassin d'impact, entouré de plusieurs anneaux montagneux concentriques, sur Mercure.
ENCYCL. Avec un diamètre de 1 300 km (comparable à celui de la plus vaste des mers lunaires, la mer des Pluies), c'est la plus grande structure qui ait été photographiée sur Mercure par la sonde américaine Mariner 10. Sa surface apparaît striée par un grand nombre de failles, qui dessinent un réseau de figures polygonales. Sa formation est imputée à l'impact d'un astéroïde, d'un diamètre de l'ordre de 100 km. Cet impact modifia l'aspect d'un hémisphère entier de Mercure. Une vaste zone située aux antipodes s'en trouva même affectée, sans doute par suite d'un effet de focalisation des ondes sismiques engendrées : elle présente aujourd'hui un aspect chaotique. Le nom de « bassin de la Chaleur » donné à cette formation vient de ce qu'elle connaît une température très élevée parce qu'elle fait face au Soleil une fois sur deux lors du passage de Mercure au point de son orbite le plus proche du Soleil.

calotte polaire. Région circulaire qui entoure un pôle sur la sphère céleste ou à la surface d'un astre.

Caltech. Acronyme de *CALifornia Institute of TECHnology.* -* **Californie (Institut de technologie de)**

Calypso. Satellite de Saturne (n° XIV), découvert en 1980 par l'Américain B.A. Smith sur des photographies prises par la sonde Voyager 1.
ENCYCL. Il gravite sur la même orbite que le satellite Téthys en se maintenant à 60° de celui-ci, constituant ainsi ce qu'on appelle un satellite *lagrangien* **(-> Lagrange [points de]).** On le désigne aussi sous le nom de *Téthys C.* Son diamètre est estimé à 20 km.

Cam. Abréviation de *Camelopardalis,* désignant la constellation de la Girafe.

Caméléon (en latin *Chamatleon, -ontis).* Petite constellation australe, proche du pôle céleste austral. Elle n'offre aucune étoile plus brillante que la magnitude 4.

Camelopardalis. Nom latin de la constellation de la Girafe (abrév. *Cam).*

caméra de poursuite. Appareil cinématographique associé à un dispositif de pointage, à cadence de prise de vues rapide, permettant de filmer à partir du sol la partie visible de la trajectoire d'un engin spatial.

caméra électronique ou **électronographique.** Dispositif qui, placé au foyer d'un télescope, transforme l'image lumineuse donnée par l'instrument en une image électronique que l'on peut enregistrer sur une plaque sensible.
ENCYCL. La caméra électronique a été imaginée par André Lallemand en 1936. L'image optique à enregistrer est formée sur une couche photoémissive à l'intérieur d'un tube à vide ; les électrons émis sont accélérés et focalisés sur une plaque sensible qu'ils viennent impressionner. Cette plaque est ensuite retirée du tube et développée. Les principaux avantages sur la photographie ordinaire sont une meilleure sensibilité, autorisant des temps de pose de 50 à 100 fois plus courts, l'absence presque totale de grain et la linéarité entre le noircissement et l'intensité de la lumière incidente. Toutefois, il faut placer la couche photoémissive dans une enceinte vide et refroidir la plaque sensible à très basse température.

Campbell (William Wallace), astronome américain (Hancock County, Ohio, 1862 - San Francisco 1938).
Le premier, il appliqua la spectrographie à la détermination de la vitesse radiale des étoiles par la mesure de l'effet Doppler*-Fizeau. Il étudia la rotation de la couronne solaire ainsi que celle des anneaux de Saturne et contribua à la vérification de la théorie de la relativité générale en mesurant la déviation de la lumière des étoiles par le champ de gravitation du Soleil.

Canada-France-Hawaii (télescope) [CFH]. Télescope de 3,60 m de diamètre, réalisé en coopération par la France et le Canada, installé près du sommet du Mauna Kea (Hawaii), à 4 200 m d'altitude, et mis en service en 1979.
ENCYCL. Les investissements ont été financés à part égales par la France et le Canada, l'université de Hawaii fournissant quant à elle le terrain, l'infrastructure, la voie d'accès et un certain nombre d'équipements. Les frais de fonctionnement et les temps d'utilisation sont répartis sur la base de 42,5 % pour le Canada et la France, et 15 % pour l'université de Hawaii.

Canard sauvage (amas du). Amas stellaire ouvert M 11 (NGC 6705), d'environ 200 étoiles, dans la constellation de l'Écu de Sobieski, facilement accessible à l'aide d'instruments d'amateurs et dont la forme évoque un vol de canards sauvages.

canaux de Mars. Formations rectilignes hypothétiques à la surface de Mars.
ENCYCL. En 1864, le Britannique W.R. Dawes remarqua que de nombreuses « mers » martiennes se terminaient par des pointes effilées d'où partaient de longs bras sombres très étroits, s'étendant ensuite à travers les régions « continentales ». L'Italien A. Secchi, observant à son tour ces étranges formations, leur donna le nom de *canali* (bras de mer, chenaux), que l'on traduisit assez improprement par *canaux* en français et par *canals* en anglais, ce qui suggérait qu'il s'agissait de formations artificielles. L'affaire connut un grand retentissement à partir de 1877 : cette année-là, à la faveur d'un rapprochement exceptionnel entre Mars et la Terre, de nombreux observateurs crurent pouvoir confirmer la réalité des canaux. Poursuivant l'étude de ces derniers, l'Italien Schiaparelli annonça, en 1882, avoir constaté le dédoublement (la gémination) d'un grand nombre d'entre eux, à certaines époques. Dès lors, les astronomes se divisèrent en deux camps : ceux qui croyaient à la réalité des canaux (les canalistes) et ceux qui n'y croyaient pas. En 1894, l'un des plus fervents canalistes, l'Américain P. Lowell, décida de se consacrer à l'étude de Mars et, dans ce but, entreprit la construction d'un observatoire à Flagstaff*, dans l'Arizona, doté d'une lunette de 60 cm d'ouverture. En plusieurs années d'observation, il crut découvrir tout un ensemble de nouveaux canaux entrecroisés et acquit la conviction que ce réseau ne pouvait être que d'origine artificielle. Il avança l'idée qu'il s'agissait d'un vaste réseau d'irrigation construit par des êtres intelligents en vue d'alimenter les plaines martiennes désertiques avec l'eau de fusion des calottes polaires. Ces conclusions frappèrent l'imagination et suscitèrent l'apparition des martiens dans la littérature : en 1898, H.G. Wells publia sa célèbre *Guerre des mondes,* mettant en scène des martiens en forme de pieuvres qui débarquent sur la Terre et y sèment la terreur avant d'être décimés par des microbes.
Au début du XXe siècle, l'hypothèse des canaux artificiels s'est trouvée sérieusement ébranlée lorsque de nouvelles observations, effectuées à l'aide d'instruments plus puissants (en particulier celles de E. Antoniadi avec la grande lunette de 83 cm d'ouverture de l'observatoire de Meudon), ne permirent pas de retrouver aisément des formations rectilignes marquées sur Mars. Ce n'est toutefois que depuis l'avènement de l'ère spatiale que le débat a pu être définitivement clos : les photographies rapprochées du sol martien prises par les sondes américaines Mariner et Viking Orbiter n'ont montré aucune trace de canaux, et l'on est à présent convaincu que ces prétendues formations n'étaient que des illusions d'optique, dues au pouvoir de résolution insuffisant des instruments d'observation utilisés.

Cancer (en latin *Cancer, -cri).* Constellation du zodiaque, entre les Gémeaux (à l'ouest) et le Lion (à l'est).

ENCYCL. Son nom est un mot latin signifiant *écrevisse,* dénomination sous laquelle elle était déjà connue dans l'Antiquité grecque. Ses étoiles sont peu brillantes, aucune n'étant de magnitude inférieure à 4, mais elle renferme un amas stellaire ouvert perceptible à l'œil nu, *Praesepe** (M 44).

Canes (-um) Venatici (-corum). Nom latin de la constellation des Chiens* de Chasse (abrév. C *Vn).*

canicule n.f. (du latin *canicula,* petite chienne), nom donné par les Romains à l'étoile Sirius). Époque de l'année où l'étoile Sirius* se lève avec le Soleil et qui, dans l'Antiquité, coïncidait avec la crue au Nil et, approximativement, avec le début de l'été dans l'hémisphère Nord.

Canis Major (-is). Nom latin de la constellation du Grand Chien* (abrév. *C Ma).*

Canis Minor (-is). Nom latin de la constellation du Petit Chien* (abrév. *CMÎ).*

Cannon (Annie Jump), astronome américaine (Dover, Delaware, 1863 - Cambridge, Massachusetts, 1941).
Elle se spécialisa dans la classification des spectres stellaires et apporta une contribution majeure à l'établissement du monumental *Henry* Draper Catalogue.* Elle découvrit cinq novae* et de nombreuses étoiles variables.

Canopus (du gr. *Kanôhos,* nom du pilote de Ménélas). Étoile *a* de la Carène, la deuxième des plus brillantes du ciel. Magnitude apparente visuelle : - 0,72. Type spectral : Al. Distance : 300 années de lumière.
ENCYCL. Les sondes spatiales l'utilisent souvent comme repère d'orientation parce qu'elle est très écartée angulairement du Soleil et que son éclat ne permet pas de la confondre avec les objets célestes qui l'environnent.

cap Canaveral. Avancée du littoral atlantique des États-Unis, sur la côte orientale de la Floride.
ENCYCL. En 1964, ce cap fut rebaptisé *cap Kennedy* en hommage au président américain assassiné, mais cette appellation fut annulée et il a retrouvé en 1973 son nom originel. La NASA y a installé le principal centre spatial des États-Unis, le *J.F. Kennedy Space Center,* à proximité d'un polygone d'essais de l'US Air Force (Eastern Test Range).

cap York. Péninsule du nord de l'Australie (État du Queensland) sur laquelle la création d'une base internationale de lancement spatial est à l'étude depuis quelques années. Coordonnées géographiques au site envisagé : 12° S., *142°* E.

Cap. Abréviation de *Capricornus,* désignant la constellation du Capricorne.

Cape Photographie Durchmusterung (CPD). Catalogue d'étoiles établi par J.C. Kapteyn à partir de plaques photographiques obtenues par sir David Gill à l'observatoire du Cap. Publié entre 1896 et 1900, il fournit les coordonnées de 450 000 étoiles plus brillantes que la magnitude 10, de déclinaison comprise entre -19° et le pôle céleste sud.

Capella (nom latin signifiant *la chèvre).* Étoile a du Cocher, la sixième des plus brillantes du ciel.
ENCYCL. Magnitude apparente visuelle : 0,08. Distance : 42 années de lumière. C'est, en fait, une binaire spectroscopique, dont les composantes, de types spectraux respectifs G6 et G2, tournent en 104 jours autour de leur centre de gravité commun.

Caph. Étoile (3 de Cassiopée. Magnitude apparente visuelle : 2,3 (variable). Type spectral : F2. Distance : 54 années de lumière.

Capricorne (en latin *Capricornus, -t).* ConsteËation du zodiaque, entre le Sagittaire (à l'ouest) et le Verseau (à l'est).
ENCYCL. Elle emprunte son nom à un animal de la mythologie grecque, à corps de chèvre et queue de poisson. Ses deux étoiles les plus brillantes, a *Cap* et (5 *Cap,* de magnitude 3 environ, brillent dans la direction des trois étoiles principales de la constellation de l'Aigle, a *Cap* apparaît, même à l'œil nu, composée de deux étoiles de magnitudes

3,6 et 4,2, écartées de plus de 6' et qui forment un couple optique.

Capricornides. Essaim de météorites et météores associés observables autour du 1er août, dont le radiant est voisin de l'étoile a de la constellation du Capricorne. Cet essaim a pour origine la comète Mrkos.

Capricornus (-i). Nom latin de la constellation du Capricorne (abrév. *Cap).*

capsule (spatiale) n.f. **1.** Petit conteneur conçu pour être éjecté d'un engin spatial et récupéré au sol. **2.** Vaisseau spatial récupérable.

capteur n.m. **1.** En métrologie, dispositif sensible à un phénomène physique et traduisant une grandeur caractéristique de ce phénomène sous la forme d'un signal, généralement électrique. Les engins spatiaux sont munis de capteurs d'attitude, appelés aussi *capteurs d'orientation,* qui mesurent des angles ou des vitesses angulaires de déplacement entre les axes d'un engin spatial et des axes de référence. Selon la nature des grandeurs mesurées, on distingue des capteurs gyroscopiques, magnétiques, optiques (capteur d'horizon, capteur solaire, capteur stellaire) ou radioélectriques. **2.** En télédétection, instrument qui recueille de l'énergie rayonnante provenant de la scène visée et fournit, à des fins de mesure, un signal électrique correspondant.

captif adj. Se dit d'un satellite relié à un autre par un câble.
ENCYCL. L'Agence spatiale italienne a, la première, mis au point un tel système, qui devrait permettre de déployer, sur plusieurs dizaines de kilomètres, vers le haut ou le bas, puis de récupérer, une sphère d'aluminium pour des applications diverses (sondages atmosphériques, électrodynamique...). Deux essais, en 1992 et 1996, depuis la navette américaine, ont échoué, SYN : *en laisse.* **-* TSS**

capture n.f. Satellisation d'un astre autour d'un autre de masse plus importante, près duquel il vient à passer, sous l'effet de l'attraction gravitationnelle qu'il subit.

Car. Abréviation de *Carina,* désignant la constellation de la Carène.

Caravelle « Zéro g ». Avion à réaction du type « Caravelle » du Centre d'essais en vol de Brétigny-sur-Orge (Essonne), modifié pour le compte du CNES en laboratoire volant pour vols* paraboliques et utilisé de 1989 à 1995. **Airbus « Zéro g »**

carbone (cycle du). Synonyme de cycle de Bethe*

carboné, e adj. Qui contient une forte proportion de carbone. *Étoile carbonée :* étoile géante rouge particulière, dont les couches superficielles contiennent davantage de carbone que d'oxygène.
ENCYCL. Le nom d'*étoile carbonée* a été introduit dans les armées 1940 par les Américains W.W. Morgan et P.C. Keenan. Dans les géantes rouges, le carbone et l'oxygène se combinent pour donner du monoxyde de carbone. Le plus souvent, au début de ce processus, l'étoile renferme davantage d'oxygène que de carbone ; l'excès d'oxygène se combine alors avec des métaux pour donner un spectre caractéristique (où prédominent typiquement des bandes de l'oxyde de titane). Les étoiles carbonées présentent un spectre très différent, dominé par les bandes de nombreux composés organiques. Rares dans notre galaxie, les étoiles carbonées sont nombreuses dans les Nuages de Magellan.

carburant n.m. Combustible contenant des hydrocarbures. Par extension, combustible entrant en réaction avec l'oxygène atmosphérique utilisé comme comburant.

Carène (en latin *Carina, -ae).* Une des constellations constitutives du Navire* Argo, dans l'hémisphère céleste austral.
ENCYCL. Son étoile principale, *a Car* ou *Canopus*,* est la plus brillante du ciel après Sirius. r) *Carinae* est une variable irrégulière très remarquable.

Carina (-ae). Nom latin de la constellation de la Carène (abrév. *Car).*

t] Carinae. Étoile variable irrégulière, dans la constellation de la Carène.

ENCYCL. Située à 9 000 années de lumière environ de la Terre, elle est connue depuis un siècle et demi pour ses fluctuations spectaculaires d'éclat. Observée par E. Halley en 1677, elle était alors de magnitude 4. De 1836 à 1858, elle a subi une violente éruption, devenant même en 1843, pendant quelque temps, la deuxième des plus brillantes étoiles du ciel, après Sirius. Puis, de 1858 à 1870, son éclat apparent a diminué fortement. Après quoi, il est resté pratiquement stable pendant soixante-dix ans, en dehors d'une ou deux brèves périodes. Mais depuis 1940, il croît à nouveau.
t) *Carinae* apparaît aujourd'hui entourée d'une petite nébulosité, surnommée « l'homuncule » en raison de sa forme. Constituée de gaz et de poussières, celle-ci se disperse dans l'espace à une vitesse de plusieurs centaines de milliers de kilomètres à l'heure. Elle a, de toute évidence, été éjectée lors de l'éruption observée au milieu du siècle dernier, la masse totale de matière abandonnée par l'étoile à cette occasion ayant peut-être représenté l'équivalent de celle du Soleil. La présence de nébulosités secondaires suggère que d'autres explosions sont survenues avant 1800, et l'on a par ailleurs la preuve que l'étoile continue de perdre de la matière. Le déclin apparent de l'étoile entre 1858 et 1870 a été provoqué par la formation de grains de poussière dans l'enveloppe de gaz éjectée. Ces grains absorbent maintenant l'essentiel de la lumière visible et du rayonnement ultraviolet émis par ri *Carinae.* Ils subissent de ce fait un chauffage intense et émettent, en retour, du rayonnement infrarouge, grâce auquel on a pu évaluer la luminosité réelle de l'étoile.
On s'est longtemps demandé si cette étoile était un objet très jeune, où la combustion de l'hydrogène n'était pas encore amorcée, ou s'il s'agissait au contraire d'une étoile très massive sur le déclin. En analysant la composition du gaz qu'elle éjecte (riche en azote, mais pauvre en carbone et en oxygène), on a pu récemment trancher en faveur de la seconde hypothèse. On sait désormais que sa luminosité atteint 5 millions de fois celle du Soleil, ce qui indique que sa masse, à l'époque de sa formation, représentait environ 200 fois celle du Soleil. En revanche, on ignore toujours la cause exacte de son instabilité : peut-être celle-ci résulte-t-elle de vibrations, de turbulences ou de phénomènes de mélange affectant l'intérieur de l'étoile, à moins que r| *Carinae* ne soit une étoile double dans laquelle se produit un transfert de matière entre les deux composantes.

Carme. Satellite de Jupiter (n° XI), découvert en 1938 par l'Américain S. Nicholson. Demi-grand axe de son orbite : 22 600 000 km. Période de révolution sidérale : 692 j (sens rétrograde). Diamètre estimé : 30 km. C'est probablement un astéroïde capturé.

carneau n.m. Sur un banc d'essai ou une aire de lancement, tranchée servant à canaliser le jet des gaz brûlés.

Carpates. Chaîne de montagnes, sur la Lune, formant le pourtour méridional de la mer des Pluies. Nom international : *Montes Catyatus.*

Carrington (nombre de). Nombre qui sert à identifier chaque rotation du Soleil.
ENCYCL. Cette numérotation a été instaurée par R.C. Carrington, après qu'il eut trouvé une durée de 27,275 3 j pour la période de rotation synodique moyenne des taches solaires. En fait, cette période varie selon la latitude, puisque le Soleil ne tourne pas comme un corps solide. La date choisie comme origine de la première rotation est le 9 novembre 1853.

Carrington (Richard Christopher), astronome amateur anglais (Londres 1826 - Churt, Surrey, 1875).
Par l'étude attentive et régulière des taches solaires, il remarqua que celles-ci restent toujours confinées à des latitudes inférieures à 45°, mais que leur latitude moyenne varie au cours d'un cycle de 11 ans, leur apparition intervenant de plus en plus près de l'équateur solaire au fur et à mesure de la progression du cycle. Il découvrit la rotation différentielle du Soleil, ainsi que les éruptions chromosphériques (1859).

Carte (photographique du ciel). Entreprise internationale engagée en 1887 à

l'initiative de l'amiral Mouchez, alors directeur de l'Observatoire de Paris, en vue d'établir une carte photographique de l'ensemble du ciel.
ENCYCL. Répartis sur l'ensemble du globe, 18 observatoires y participèrent, équipés d'un instrument standard conçu par les frères Henry : une lunette photographique à monture équatoriale à berceau, munie d'un objectif de 33 cm d'ouverture. Les étoiles étaient photographiées jusqu'à la magnitude 14, les valeurs de leurs coordonnées étant ensuite publiées jusqu'à la magnitude 11. La carte devait comprendre 10 000 clichés. Elle est restée incomplète, mais le catalogue a été achevé.

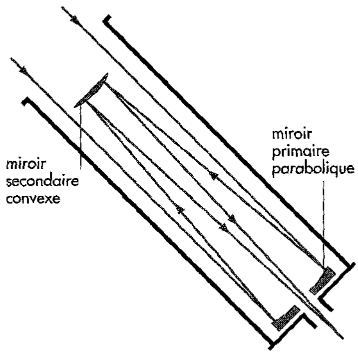
cartographie spatiale. Élaboration de cartes à partir de données collectées par des véhicules spatiaux et complétées par d'autres informations. Selon la nature des mesures et des traitements effectués, la cartographie peut être topographique, géologique, gravimétrique, altimétrique, thermique, etc.

Cas. Abréviation de *Cassiopeia,* désignant la constellation de Cassiopée.

case à équipements. Compartiment d'un lanceur, généralement situé au sommet de l'étage supérieur, qui rassemble les principaux équipements électriques et permet d'assurer notamment les fonctions de guidage, de localisation, de pilotage et de sauvegarde.

Cassegrain (combinaison de). Combinaison optique proposée au XVIIe s. par le Français Laurent Cassegrain, dans laquelle le faisceau lumineux se réfléchit sur un miroir principal parabolique concave, puis sur un miroir secondaire hyperbolique convexe, pour donner une image finale agrandie à l'arrière du miroir principal, à travers un trou percé au centre de ce miroir (*voir* figure).
ENCYCL. Avec ce système, l'emplacement habituel des appareils où l'on reçoit l'image pour l'exploiter est particulièrement accessible. En outre, cette combinaison permet d'obtenir une longueur focale résultante entre 2 et 5 fois supérieure à celle du miroir principal, ce qui la rend particulièrement appropriée à l'observation des petits objets.

Télescope de Cassegrain



cassegrain n.m. Télescope doté d'une combinaison de Cassegrain. On dit aussi *télescope [de] Cassegrain.*

Cassini (division de). Principale zone de séparation observée dans le système d'anneaux de Saturne, entre les anneaux A et B, les deux plus brillants visibles de la Terre.
ENCYCL. Large de 4 700 km environ, et aisément observable avec une petite lunette ou un petit télescope d'amateur, cette zone n'est pas complètement dépourvue de matière comme on le pensait naguère. Les sondes américaines Voyager* ont révélé qu'elle renferme des poussières sombres, réparties en une vingtaine au moins de fins annelets.

Cassini (Dominique, comte de), dit Cassini IV, astronome et géodésien français (Paris 1748 - Thury-sous-Clermont, Oise, 1845).
Fils de César-François Cassini de Thury, il acheva les travaux de la carte de France et participa aux opérations géodésiques de raccordement des méridiens de Paris et de Greenwich. À la mort de son père, en 1784, il lui succéda comme directeur de l'Observatoire de Paris. Foncièrement attaché à la monarchie, il se démit de ses fonctions en 1793.

Cassini (Jacques), dit Cassini II, astronome et géodésien français (Paris 1677 - Thury, Beauvaisis, 1756).
Fils de Jean-Dominique Cassini, il collabora

très jeune avec son père et lui succéda à la tête de l'Observatoire de Paris. Il prit part à de nombreuses opérations géodésiques et astronomiques. Cartésien convaincu, comme son père, il prit position contre l'hypothèse de l'aplatissement de la Terre : son mémoire *De la grandeur et de la figure de la Terre* (1722), célèbre par son exposé des principes de la triangulation géodésique, vint appuyer les adversaires de la théorie de la gravitation de Newton.

Cassini (Jean Dominique), dit Cassini Ier astronome français d'origine italienne (Perimaldo, comté de Nice, 1625 - Paris, 1712).
Il travailla d'abord à Modène avec les pères Riccioli et Grimaldi, et se rendit célèbre par des observations de très bonne qualité et des publications de valeur. En 1650, il fut nommé professeur d'astronomie à l'université de Bologne puis, en 1663, entra au service du pape. En 1669, il vint en France, appelé par Colbert, pour organiser l'Observatoire de Paris, alors en construction. Malgré plusieurs rappels du pape, il préféra poursuivre ses recherches à Paris et se fit naturaliser français en 1673. Il contribua à équiper l'Observatoire de moyens d'observation importants pour l'époque, grâce auxquels il effectua de nombreuses découvertes, parmi lesquelles celles de quatre satellites de Saturne (Japet, 1671 ; Rhéa, 1672 ; Téthys et Dioné, 1684) et d'une division (qui porte à présent son nom) dans l'anneau entourant cette planète (1675). Il s'attacha aussi à poursuivre les observations des surfaces planétaires qu'il avait entreprises avant sa venue en France (dès 1665, il parvint à déterminer la période de rotation de Jupiter, et, en 1666, celle de Mars). Il dessina une grande *Carte de la Lune,* achevée en 1679, qui resta sans rivale jusqu'à l'apparition de la photographie au xixe siècle. Enfin, avec O. Rômer, il étudia le mouvement des satellites de Jupiter, ce qui permettait, à l'époque, de résoudre, au moins approximativement, le problème de la détermination des longitudes en mer.

Cassini de Thury (César-François), dit Cassini III, astronome et géodésien français (Thury, Beauvaisis, 1714 - Paris 1784).
Fils de Jacques Cassini, il fut surtout un éminent géodésien et un cartographe de talent. À la demande de Louis XV, il leva la carte de France au 1/86 400. Commencée en 1752, l'entreprise ne fut achevée qu'en 1789. C'était la première carte moderne de la France. Elle servit plus tard de modèle à la carte d'état-major. Cassini III fut, à partir de 1771, le premier directeur en titre de l'Observatoire de Paris, où il logeait déjà comme, avant lui, son père et son grand-père.

Cassini-Huygens. Programme spatial américano-européen d'étude de la planète Saturne et de son principal satellite, Titan.
ENCYCL. Ce programme prévoit la satellisation autour de Saturne d'un orbiteur construit par la NASA, qui larguera en temps opportun dans l'atmosphère de Titan la sonde d'exploration Huygens*, réalisée par l'Agence spatiale européenne. Le vaisseau Cassini, lancé le 15 octobre 1997, doit se placer en orbite autour de Saturne en 2004 après avoir survolé un astéroïde et avoir été accéléré par un passage près de Vénus, un retour près de la Terre, puis un survol de Jupiter. Il cartographiera une grande partie de la surface de Titan par altimétrie radar, étudiera les autres satellites de Saturne, observera les anneaux de la planète sous différents angles et explorera sa magnétosphère. Cette mission orbitale est prévue pour une durée de quatre ans.

Cassiopée (en latin *Cassiopeia, -ae).* Constellation voisine du pôle céleste nord, située à l'opposé de la Grande Ourse par rapport à l'étoile polaire.
ENCYCL. Elle se reconnaît facilement grâce au W que dessinent ses cinq étoiles principales (a, |3, y, 8, e). Elle renferme une trentaine d'étoiles visibles à l'œil nu, plusieurs étoiles doubles ou multiples aux composantes facilement séparables (comme t|, \|/, i), des étoiles variables (y, 8) et quelques amas ouverts (M 52, M 103). Son étoile la plus brillante, a ou *Schedir* (le « Sein »), présente des fluctuations irrégulières d'éclat de faible amplitude (magnitude variable de 2,1 à 2,6).
y *Cas* est une variable irréguiière, distante de 650 al, dont la magnitude varie entre 1,6 et 3,3, en raison, semble-t-il, de fluctuations du volume de son enveloppe gazeuse. Le

11 novembre 1572, Tycho Brahe* aperçut dans cette constellation une étoile temporaire (supernova*) qui devint aussi brillante que Vénus et qu'il put observer pendant 17 mois. Le gaz libéré par l'explosion se manifeste encore par des émissions d'ondes radio et, faiblement, dans le domaine optique. On a retrouvé également dans la constellation les vestiges d'une supernova aperçue en 1181 par les observateurs de Chine et du Japon. Enfin, on y a détecté la plus brillante radiosource discrète du ciel en ondes métriques, Cassiopée A.

Cassiopée (du nom d'une constellation). Cinquième mission spatiale habitée franco-russe, qui a vu l'envoi dans l'espace de la première spationaute française, C. André-Deshays*.
ENCYCL. Cette mission a consisté à mettre en œuvre un important matériel scientifique, notamment : l'instrument Alice 2, nouvelle version de l'instrument Alice pour des expériences sur le comportement des fluides près de leur point critique ; le laboratoire Cognilab, destiné à étudier l'adaptation du système neurosensoriel dans des conditions d'impesanteur (perception de l'environnement, positionnement du corps, attention, performances) ; l'expérience de biologie Fertile, consacrée à l'étude dans des conditions d'impesanteur des étapes successives du développement embryonnaire d'œufs d'amphibiens (pleurodèles) fécondés *in situ* ; et le laboratoire modulaire de physiologie humaine Physiolab, destiné à l'acquisition et au traitement des données de mesure d'un ensemble de paramètres physiologiques, principalement cardio-vasculaires.
Parti de Baïkonour le 17 août 1996, avec le vaisseau Soyouz TM24, l'équipage, comprenant les Russes V. Korzoun et A. Kaléri et la spationaute française, rejoignit la station Mir le surlendemain. En deux semaines, le programme expérimental complet put être réalisé. Claudie André-Deshays est revenue sur la Terre le 2 septembre 1996.
Entreprise dans le cadre de la coopération spatiale entre la France et la Russie, Cassiopée fait suite aux missions PVH* (1982), Aragatz* (1988), Antarès* (1992) et Altaïr* (1993).

Cassiopée A. La plus puissante radiosource discrète du ciel (autre que le Soleil), découverte en 1946 et identifiée à une nébuleuse à émission, en expansion rapide, située à 10 000 al, qui serait issue de l'explosion d'une supernova survenue vers 1660 (mais qui n'a pas été observée, peut-être occultée par des nuages de poussières interstellaires).

Cassiopeia (-ae). Nom latin de la constellation de Cassiopée (abrév. *Cas).*

Castor (alias **D5B).** Satellite français mis sur orbite le 17 mai 1975 (en même temps que Pollux).
ENCYCL. Il emportait l'accéléromètre CACTUS (capteur accélérométrique capacitif triaxial ultrasensible) développé par l'ONERA afin de mesurer des accélérations dans la gamme 10^{-4} à 10^{-8} m-s^{-2}. Son extrême sensibilité lui aurait permis de mesurer la décélération d'une voiture dont la vitesse de 100 km/h se serait annulée en un siècle.
Le satellite Castor s'est détruit en rentrant dans l'atmosphère le 18 février 1979, après 44 mois de vie opérationnelle.
Un premier modèle de vol n'avait pu être satellisé le 21 mai 1973.

Castor. Étoile a des Gémeaux.
ENCYCL. Magnitude apparente visuelle : 1,6. Distance : 52 années de lumière. Il s'agit, en fait, d'une étoile double, dont les composantes sont de type spectral A0 et de magnitude apparente 2,0 et 2,9 respectivement. Dédoublé pour la première fois en 1718 par les Britanniques Bradley et Pound, ce système binaire est le premier à avoir été expliqué, en 1804, par William Herschel, par le mouvement de révolution de deux étoiles autour de leur centre de gravité mutuel. Chacune des composantes du système est elle-même une binaire spectroscopique.

catadioptrique adj. Se dit d'un système optique qui combine des lentilles et des miroirs, c'est-à-dire des éléments qui réfractent la lumière et des éléments qui la réfléchissent. Les télescopes de Maksutov*, de Schmidt* et de Schmidt*-Cassegrain

sont des exemples de systèmes catadioptriques.

catalogue n.m. Liste importante d'objets célestes (étoiles, nébuleuses, galaxies...) accompagnée de certaines données particulières sur ces objets : position, caractéristiques astrométriques ou astrophysiques, etc.

ENCYCL. Le premier catalogue d'étoiles dont on ait trouvé mention fut établi par Hipparque en 127 av. J.-C. Mais le plus ancien qui nous soit parvenu est celui publié en 137 apr. J.-C. par Ptolémée, qui contient 1 028 étoiles. Ensuite, des catalogues d'étoiles ont été établis par les astronomes arabes au Moyen Âge, et parTycho Brahe en 1594, mais, toujours limités à des étoiles visibles à l'œil nu, ils ne contiennent pas plus d'étoiles que celui de Ptolémée. Il a fallu attendre l'application de la lunette à l'étude du ciel par Galilée (1609-1610) pour découvrir une multitude d'étoiles nouvelles. W. Herschel, à la fin du XVIII6 s., comptait déjà, dans certaines portions du ciel, environ 200 000 étoiles par degré carré. Ainsi s'est imposée la nécessité de disposer de catalogues aussi complets que possible, et toujours plus précis. Le perfectionnement des instruments et des techniques de mesure, à partir du XVIIe, et surtout du XVIIIe s., a permis d'entreprendre la réalisation de tels catalogues.
Parmi les catalogues d'étoiles les plus célèbres, on peut citer ceux de La Caille (1757), concernant 10 000 étoiles du ciel austral; celui de Bradley (1763), longtemps consulté pour l'étude des mouvements propres stellaires ; celui de Lalande (1801), donnant les positions d'environ 47 000 étoiles ; puis, au cours du XIXe s., le grand catalogue d'Argelander (1857-1863), connu sous le nom de *Bonner* Durchmusterung* et ses deux suppléments ; le catalogue AGK* ; et les catalogues fondamentaux FIC.

Parmi les catalogues de nébuleuses et de galaxies, les plus célèbres sont ceux de Messier* et le *New General Catalogue (NGC*)* de H. Draper.

catena n.f. (mot latin ; pl. *catenae).* Chaîne de cratères, dans la nomenclature internationale du relief des surfaces planétaires.

Caucase. Chaîne de montagnes, sur la Lune, dans le prolongement des Apennins, entre la mer des Pluies et la mer de la Sérénité (nom international : *Caucasus Montes).*

cavale n.f. Étoile à grande vitesse, échappée d'une association stellaire à laquelle *elle* appartenait, vraisemblablement à la suite d'un échange d'énergie avec d'autres étoiles de l'association.

ENCYCL. Les cavales sont des étoiles jeunes et chaudes. Les trois premières ont été découvertes au cours des années 1950 par l'astronome néerlandais Adraan Blaauw, et semblent fuir l'association d'Orion. L'une (AE *Aurigae)* se trouve à présent dans la constellation du Cocher, la deuxième (53 *Arietis)* dans celle du Bélier, et la troisième (p *Columbae)* dans celle de la Colombe. Toutes trois s'éloignent d'un point du ciel situé au centre de la constellation d'Orion. Ce sont des géantes bleues. *AE Aurigae* et p *Columbae* s'écartent, à une vitesse de 130 km/s, dans des directions diamétralement opposées. Elles auraient quitté l'association d'Orion il y a 2,5 millions d'années. 53 *Arietis,* dont la vitesse n'est que de 70 km/s, se serait échappée il y a 4,5 millions d'années.

CCD n.m.inv. (sigle de l'angl. *Charge Coupied Device,* dispositif à couplage de charge). Récepteur électronique d'images, constitué d'une mosaïque carrée ou rectangulaire de diodes en silicium qui se chargent en fonction de la lumière qu'elles reçoivent, la lecture du signal électrique étant réalisée ensuite grâce au déplacement des charges, commandé par l'application de tensions aux bornes des éléments photoconducteurs.

ENCYCL. Mis au point en 1969 par deux ingénieurs américains des laboratoires Bell Téléphoné, Boyle et Smith, le CCD a été utilisé pour la première fois en astronomie en 1975, aux États-Unis, pour photographier la planète Uranus. Ce dispositif offre toutes les qualités attendues d'un récepteur d'images en astronomie : un excellent rendement (sur 100 photons qu'il reçoit, il en enregistre de 60 à 80, contre 2 seulement pour une émulsion photographique), une sensibilité qui le

rend utilisable dans une large gamme de longueurs d'onde, une remarquable linéarité (le nombre d'électrons collectés sur un pixel est rigoureusement proportionnel au nombre de photons incidents, de sorte que la brillance de l'image reflète fidèlement celle de l'objet), un bruit de fond très faible et la capacité d'enregistrer simultanément l'image d'objets ayant des éclats très différents (dans un rapport de 1 à 100 000). Enfin, la forme numérisée du signal se prête bien au traitement par ordinateur. Ces nombreuses qualités, auxquelles s'ajoute l'aptitude à la miniaturisation, expliquent que les CCD constituent désormais les récepteurs d'images privilégiés de l'astronomie. Plus le nombre d'éléments photoconducteurs est grand, meilleure est la résolution des images fournies.

CD. Abréviation de *Cordoba Durchmusterung.*

CECLES (sigle de Conseil Européen pour la mise au point et la Construction de Lanceurs d'Engins Spatiaux, en anglais ELDO). Organisme européen mis en place en 1964 afin de doter l'Europe d'une capacité autonome de lancement (programme Europa). Il comptait sept pays fondateurs : Allemagne, Australie, Belgique, France, Italie, Pays-Bas, Royaume-Uni. L'Agence spatiale européenne lui a succédé à partir de 1975. -• **CERS**

CEI. Sigle de Communauté* d'États Indépendants.

ceinture d'astéroïdes. Région du système solaire, à des distances du Soleil comprises entre 2 et 3,3 unités astronomiques (300 et 495 millions de kilomètres environ), dans laquelle circulent la plupart des astéroïdes* connus.

ENCYCL. À l'intérieur de cette région, les astéroïdes sont inégalement distribués : on y trouve à la fois des zones très peuplées, où de nombreux astéroïdes, groupés en familles, décrivent des orbites voisines, et des zones pratiquement vides, désignées sous le nom de *lacunes de Kirkwood**.

La composition superficielle des astéroïdes varie de façon significative selon la distance au Soleil. Vers le bord intérieur de la ceinture, on rencontre 60 % d'astéroïdes silicatés et 10 % de carbonés, tandis que près du bord extérieur la situation est inverse avec 80 % de carbonés et 15 % de silicatés. La ceinture d'astéroïdes constitue une zone de transition entre le domaine des planètes telluriques (système solaire interne) et celui des grosses planètes (système solaire externe).

ceinture de Kuiper. Vaste région du système solaire, peuplée d'astéroïdes et de noyaux cométaires, qui s'étendrait, dans le plan de l'écliptique, au-delà de l'orbite de Neptune.

ENCYCL. Son existence a été postulée dès 1951 par l'Américain G. Kuiper. Elle permet d'expliquer les caractéristiques des orbites des comètes à courte période. Elle abriterait des vestiges de la formation du système solaire : des planétésimaux qui n'ont jamais quitté la région dans laquelle ils se sont formés, mais dont l'agglomération en un corps unique de taille planétaire a échoué parce qu'ils étaient en nombre insuffisant. Les astéroïdes transneptuniens découverts depuis 1992 en seraient des spécimens. La planète Pluton* elle-même peut sans doute être considérée comme le premier des objets de la ceinture de Kuiper. Cette ceinture pourrait s'étendre jusqu'à une distance du Soleil de l'ordre de 500 unités astronomiques.

ceinture de rayonnement (ou **de radiations**). Zone de la magnétosphère* d'une planète, de forme toroïdale, dans laquelle se trouvent confinées un grand nombre de particules de haute énergie.

ENCYCL. La mise en évidence, autour de la Terre, de deux ceintures de rayonnement a constitué la première grande découverte à l'actif des satellites artificiels. J.A. Van Allen, à partir des données recueillies par les premiers satellites américains Explorer, en 1958, fournit un premier aperçu de leur forme et de leurs caractéristiques, d'où le nom de *ceintures de Van Allen* qui leur est souvent donné. Depuis, de nombreuses missions spatiales ont permis de préciser leur structure.

La ceinture interne s'étend, en moyenne, entre 1 300 et 25 000 km d'altitude environ.

Elle est peuplée surtout de protons (dont le flux, pour des énergies supérieures à 10 MeV, est maximal vers 7 000 km d'altitude) issus des interactions entre les rayons cosmiques* et la haute atmosphère. Sa configuration est très stable, mais elle est sujette à des perturbations occasionnelles dues aux orages magnétiques et varie également avec le cycle de l'activité* solaire. Par suite de l'inclinaison de l'axe magnétique de la Terre par rapport à son axe de rotation, la limite inférieure de cette ceinture s'approche à moins de 500 km de la surface terrestre dans l'Adantique Sud, au large du Brésil (anomalie de l'Atlantique Sud). La ceinture externe s'étend au-delà de la précédente, jusqu'à 50 000 km environ. Elle est peuplée essentiellement d'électrons, dont l'énergie ne dépasse pas 10 MeV et dont le flux, pour des énergies supérieures à 1 MeV, est maximal vers 25 000 km. Ces particules proviennent du vent solaire et des orages magnétiques ; elles forment une population beaucoup plus dynamique que celle de la ceinture interne.

Une troisième ceinture a été mise en évidence en 1992 par le satellite américano-germanique Sampex. Incluse dans la ceinture interne, elle présente sa plus forte intensité au niveau de l'anomalie de l'Atlantique Sud. Elle est peuplée d'ions très énergétiques d'oxygène, d'azote et de néon : ceux-ci proviennent, pense-t-on, d'atomes de l'espace interstellaire qui ont pénétré dans le système solaire et ont été ionisés par le rayonnement ultraviolet du Soleil.
Des ceintures de rayonnement ont été également découvertes autour des planètes Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune grâce aux sondes spatiales Pioneer 10 et 11 et Voyager 1 et 2.

cellule solaire. Dispositif élémentaire destiné à produire de l'énergie électrique par conversion directe de l'énergie lumineuse solaire. Les piles solaires et les panneaux solaires sont constitués d'un assemblage de cellules solaires.

Cen. Abréviation de *Centaurus,* désignant la constellation du Centaure.

cendrée (lumière). lumière cendrée

Centaur. Propulseur réallumable construit par les États-Unis au début des années 1960 à partir du premier moteur cryotechnique du monde, le RL-10 de Pratt and Whitney, à hydrogène et oxygène liquides. Sous une forme modifiée, il est encore utilisé aujourd'hui comme étage supérieur des lanceurs Atlas et Titan.

Centaure (en latin *Centaurus, -i).* Constellation australe, connue depuis l'Antiquité.
ENCYCL. Elle est très riche en curiosités célestes (étoiles brillantes, étoiles variables, étoiles doubles ou multiples, amas stellaires, nébuleuses galaxies). Ses deux étoiles principales, P *Cen* (Rigil* Kentarus) et P *Cen* (Agena), comptent parmi les plus brillantes du ciel austral. L'une des étoiles du système triple a *Cen* est, à 4,22 années de lumière de distance, l'étoile la plus proche du système solaire, et appelée pour cette raison *Proxima.* La constellation renferme aussi l'amas globulaire co *Centauri,* la puissante radiosource *Centaurus* A* et un amas d'environ 250 galaxies principales, situé à 225 millions d'années de lumière.

a Centauri. La plus brillante étoile de la constellation du Centaure et l'étoile brillante la plus proche du Soleil.
ENCYCL. C'est un système de trois étoiles liées par leur attraction mutuelle. L'astre brillant auquel les Arabes ont donné le nom de *Rigil* Kentarus* et qui, avec une magnitude apparente de - 0,27, constitue la troisième étoile du ciel par son éclat, est en fait une étoile double visuelle, située à 4,40 années de lumière. À 2° 11' de ce couple se trouve une troisième composante, bien moins lumineuse, qui est l'étoile la plus proche du Soleil, à 4,22 années de lumière de distance, et a reçu pour cette raison le nom de *Proxima*.*

(O Centauri. Brillant amas globulaire de la constellation du Centaure.
ENCYCL. Aisément visible à l'œil nu comme une petite nébulosité de magnitude 3,6, il a été primitivement pris pour une étoile par les observateurs des pays méditerranéens, pour lesquels il reste toujours très bas sur l'horizon : cela explique que J. Bayer, dans son *Uranometria,* publiée en 1603, l'ait dési-

gné par la lettre grecque ffl, et cet usage s'est maintenu. C'est Halley qui, le premier, en 1677, le reconnut comme un amas stellaire. Plus riche que les amas d'Hercule et du Toucan, c'est l'un des amas globulaires les plus brillants du ciel. Dans les grands instruments, il s'étend sur plus de 1° et l'on perçoit bien sa forme elliptique. Avec un diamètre de 620 années de lumière, c'est le plus grand amas globulaire connu. Au centre, on estime que les étoiles sont, en moyenne, au moins 50 fois plus proches les unes des autres qu'au voisinage du Soleil. Sa luminosité globale correspond à celle de 1 million de soleils. Il est situé à une distance de 16 500 années de lumière.

Centaurus (-i). Nom latin de la constellation du Centaure* (abrév. *Cen).*

Centaurus A. Radiosource intense et étendue, à la structure complexe, dans la constellation du Centaure.
ENCYCL. Son centre coïncide avec la galaxie elliptique géante NGC 5128. Deux de ses composantes sont situées à l'intérieur des limites optiques de la galaxie, tandis que deux autres s'étendent très au-delà, symétriquement par rapport à la galaxie, sur quelque 3 millions d'années de lumière. La galaxie elle-même est aussi une source intense de rayons y et de rayons X. On présume que son noyau est le siège d'une violente activité, à l'origine de la colossale énergie libérée. Sa distance reste incertaine : d'après les observations d'une supernova qui y a été aperçue en 1986, elle serait comprise entre 7 et 10 millions d'années de lumière.

centrale inertielle. Ensemble mécanique et électronique de précision comportant des accéléromètres, des gyromètres et des moyens de calcul et capable de fournir à chaque instant les coordonnées de position et les composantes de vitesse et d'accélération du véhicule à bord duquel il est installé. On dit aussi *centrale à inertie.*

centrale solaire spatiale. Ensemble d'installations permettant la production industrieËe d'énergie électrique à partir d'énergie solaire captée dans l'espace et transmise au sol sous forme de micro-ondes.
ENCYCL. Le concept de centrale solaire spatiale a été proposé en 1968 par l'Américain Peter E. Glaser. Fondamentalement, une telle centrale comprendrait : un satellite placé en orbite géostationnaire portant un générateur photovoltaïque, convertissant la lumière en courant continu ; un système de transmission d'énergie hyperfréquence composé d'un ensemble d'émission porté parle satellite et d'une antenne de réception terrestre ; un système de conversion transformant le courant continu reçu en courant alternatif et assurant son injection dans le réseau terrestre de distribution d'énergie électrique. Les études préliminaires déjà effectuées ont montré que ce concept est techniquement viable mais à un coût très difficile à évaluer et avec des problèmes écologiques et institutionnels nécessitant encore des recherches approfondies. En raison des différents problèmes posés, le développement de centrales solaires spatiales n'apparaît guère envisageable qu'à l'échelle internationale.

centralité (ligne de). Ligne décrite, à la surface de la Terre, par la trace de la droite joignant les centres du Soleil et de la Lune au cours d'une éclipse de Soleil totale ou annulaire.

centré (système optique) **système optique**

centre de contrôle. Salle où sont coordonnées diverses opérations spatiales (lors d'un lancement ou pour la surveillance et le maintien des satellites en orbite), et qui rassemble d'importants moyens techniques (calculateurs, liaisons avec les stations de poursuite, équipements de visualisation, etc.) ainsi que les moyens humains nécessaires à ces opérations.

centre de lancement. Installation proche de l'aire de lancement, en général protégée contre les effets d'une explosion ou d'un impact, d'où sont dirigées les opérations propres à un véhicule aérospatial jusqu'à son lancement.

Centre des astronautes européens → **EAC**

centrifuge adj. 1. Dirigé dans le sens qui éloigne du centre. **2.** *Force centrifuge,* force d'inertie qu'on doit introduire en plus de la force centripète pour décrire un mouvement circulaire uniforme dans le référentiel non galiléen lié au mobile.

centrifugeuse n.f. Machine tournante destinée à soumettre un sujet ou un matériel aux effets de l'accélération.
ENCYCL. Les centrifugeuses utilisées pour la sélection et l'entraînement des pilotes de chasse et des spationautes se présentent comme une sorte de manège constitué par un bras très robuste fixé à un axe vertical relié à un moteur, et à l'extrémité duquel est accrochée une cabine dans laquelle prend place le sujet. L'accélération subie peut atteindre 10 g. Selon la position du sujet dans la cabine, elle peut s'exercer dans les directions siège-tête, tête-siège, ventre-dos, dos-ventre, côté-côté ou suivant toute autre direction intermédiaire. L'installation permet de faire varier l'intensité de l'accélération et le rythme d'accélération ou de décélération. Le sujet fait l'objet d'une surveillance cardiaque et pulmonaire constante ; il est filmé par une caméra de télévision dont les images sont reçues dans une salle de contrôle où se tiennent les médecins responsables de l'expérience.

centripète adj. Dirigé vers le centre. S'emploie surtout à propos de l'accélération d'un mouvement circulaire uniforme et de la force qui produit ce mouvement.

Cep. Abréviation de *Cepheus,* désignant la constellation de Céphée.

Céphée (en latin *Cepheus, -/*). Constellation boréale, proche du pôle céleste nord.
ENCYCL. Ses principales étoiles (et, (3, y, i et Q forment un pentagone entre le Dragon et Cassiopée. Seule son étoile la plus brillante, *a Cep* ou *Alderamin*,* a un éclat supérieur à la magnitude 3. La constellation renferme de nombreuses étoiles variables, en particulier ô *Cep,* prototype des céphéides, dont l'éclat varie entre les magnitudes 3,7 et 4,6 avec une période de 5,366 3 j.

céphéide n.f. Étoile puisante dont l'étoile 5 *Cep* est le prototype et dont l'éclat subit des variations d'éclat périodiques (de 1 jour à quelques semaines) liées à l'instabilité de son atmosphère, qui se dilate et se contracte alternativement.
ENCYCL. Les céphéides se répartissent en deux grandes classes : les céphéides classiques, qui sont les plus lumineuses et appartiennent à la population I (jeune) ; les céphéides de population II, du type de l'étoile *WVirginis.* C'est par l'observation des céphéides du Petit Nuage de Magellan que l'Américaine Henrietta Leavitt découvrit en 1912 la relation qui existe entre la période des variations d'éclat et la luminosité moyenne des céphéides.
Des travaux ultérieurs ont montré que les deux classes de céphéides obéissent à une relation « période-luminosité » différente. Cette relation joue un rôle important en astronomie, car elle constitue un critère de distance extragalactique. En effet, la détermination observées dans des amas et des galaxies proches permet d'en déduire, à l'aide de la relation période-luminosité, leur luminosité intrinsèque moyenne ; la comparaison de celle-ci avec l'éclat .apparent moyen des céphéides observées fournit alors la distance de l'amas ou de la galaxie.
→ **Hubble (loi de)**

Cepheus (-i). Nom latin de la constellation de Céphée* (abrév. *Cep).*

cercle de hauteur. Synonyme de *almicantarat.*

cercle horaire. Demi-grand cercle de la sphère céleste, en un lieu donné, passant par les pôles célestes et l'astre considéré.

cercle méridien. Synonyme de lunette méridienne*.

cercle oculaire. Dans une lunette astronomique, image réelle de l'objectif fournie par l'oculaire.
ENCYCL. Son emplacement est celui que doit occuper la pupille de l'œil pour embrasser la

plus grande partie du champ. On l'appelle aussi *anneau oculaire.*

Cérès. Astéroïde 1, le plus volumineux des astéroïdes et le premier à avoir été découvert, par l'Italien G. Piazzi, le 1er janvier 1801. Demi-grand axe de son orbite : 414 millions de km. Période de révolution sidérale : 1 680 j. Diamètre : 930 km environ. Masse : $5,9.10^{-10}$ fois celle du Soleil.

CERGA (sigle de Centre d'Études et de Recherches Géodynamiques et Astronomiques). Établissement créé en 1974 pour le développement des recherches et des techniques dans le domaine de l'astrométrie, de la géophysique et de la géodynamique, et qui constitue, depuis 1988, l'une des composantes de l'observatoire de la Côte d'Azur.

ENCYCL. Il comprend un observatoire, situé à 1 250 m d'altitude, sur le plateau de Calem, au nord de Grasse, et un centre administratif et scientifique à Roquevignon. L'observatoire dispose notamment de l'un des plus gros télescopes de Schmidt du monde (diamètre du miroir : 1,52 m), de télescopes autorisant des mesures interférométriques dans le domaine visible et dans l'infrarouge, de stations de télémétrie laser pour des opérations de géodésie spatiale et la mesure de la distance Terre-Lune, etc.

Cerro Paranal. Sommet des Andes, dans le nord du Chili, sur lequel un très grand télescope européen, le VLT*, est en cours d'installation, à 2 640 m d'altitude.

Cerro Tololo (observatoire interaméricain de). L'un des observatoires optiques nationaux des États-Unis (**→ NOAO**), fondé en 1963, au Chili.

ENCYCL. Le siège administratif se trouve à La Serena, à 480 km au nord de Santiago. L'observatoire proprement dit est implanté à 70 km de là, sur le sommet de Cerro Tololo, à 2 200 m d'altitude. Il comprend sept télescopes dont le plus grand, mis en service en 1974, à 4 m d'ouverture et est identique au télescope Mayall de l'observatoire de Kitt* Peak.

CERS (sigle de Conseil Européen de Recherches Spatiales, en anglais *ESRO).* Organisme européen mis en place en 1964 pour la réalisation de satellites scientifiques et la coordination des technologies spatiales, à l'initiative de dix pays fondateurs : Allemagne, Belgique, Danemark, Espagne, France, Italie, Pays-Bas, Royaume-Uni, Suède, Suisse. L'Agence spatiale européenne lui a succédé à partir de 1975. **CECLES**

Cet. Abréviation de *Cetus,* désignant la constellation de la Baleine.

Cetus (-i). Nom latin de la constellation de la Baleine (abrév. *Cet).*

CFH (télescope). Abréviation de Canada*-France-Hawaii (télescope).

Cha. Abréviation de *Chamaeleon* désignant la constellation du Caméléon.

Challenger. Nom de l'un des orbiteurs de la navette spatiale américaine.

ENCYCL. Son premier lancement a eu lieu le 4 avril 1983. Lors de sa 10e mission, le 28 janvier 1986, son explosion en vol, 73 s après le décollage, a causé la mort des sept astronautes qui composaient son équipage et la perte du satellite TDRS 2.

Chalonge (Daniel Henri), astrophysicien français (Grenoble 1895 - Paris 1977).
Il a établi avec D. Barbier une classification spectrale quantitative des étoiles et a étudié la répartition spectrale de l'énergie dans le Soleil et les étoiles. Fervent alpiniste, il fut l'initiateur des recherches d'astrophysique au Jungfraujoch.

Chamaeleon(-tis). Nom latin de la constellation du Caméléon (abrév. *Cha).*

chambre de combustion. Dans un moteur-fusée à liquides, enceinte où sont injectés, finement pulvérisés et sous forte pression, les ergols pour réagir l'un sur l'autre. Les gaz produits sont ensuite accélérés dans une tuyère.

champ magnétique.
1. Zone où s'exercent des forces d'origine magnétique. **2.** Grandeur physique qui ca-

ractérise les effets du champ magnétique existant en un point.
ENCYCL. La connaissance des champs magnétiques permet de rendre compte du comportement des particules chargées des plasmas existant dans l'Univers. Les divers phénomènes de l'activité* solaire sont liés à des perturbations magnétiques ; l'espace interplanétaire est divisé en secteurs magnétiques liés au champ solaire ; sous l'action du vent* solaire, le domaine magnétique des planètes se trouve confiné dans des régions de forme particulière appelées *magnétosphères**.

champ n.m. Portion de la sphère céleste accessible à un instrument dirigé vers un point fixe du ciel. Il est d'autant plus petit que le grossissement est plus élevé.

Chandler (Seth Carlo), astronome américain (Boston 1846 - Wellesley Hill, Massachusetts, 1913).
Il s'est illustré par ses travaux sur la forme et la rotation de la Terre. On lui doit notamment la découverte de la *période de Chandler.*
—• polhodie

Chandrasekhar (Subrahmanyan), astrophysicien américain d'origine indienne (Lahore 1910 - Chicago 1995).
Il est l'auteur de travaux théoriques sur la polarisation de la lumière des astres (qu'il a prévue avant qu'elle soit observée), le transfert d'énergie dans les étoiles et l'évolution stellaire. Il a, notamment, établi une relation entre la masse et le rayon des étoiles dégénérées, qui indique que les naines blanches ne peuvent avoir une masse supérieure à 1,4 fois environ celle du Soleil *(limite de Chandrasekhar).* Ces travaux lui ont valu de partager avec W. Fowler le prix Nobel de physique en 1983.

Chandra X-ray Observatory. Satellite américain d'astronomie destiné à localiser et à étudier les sources célestes de rayonnement X.
ENCYCL. Appelé primitivement AXAF, il a été rebaptisé ainsi en hommage à l'astronome indien S. Chandrasekhar. Sa mise en orbite, par la navette américaine, est attendue en juiËet 1999. Long de 13,8 m et pesant 4 620 kg, il doit suivre une orbite très allongée, entre 140 000 et 10 000 km d'altitude ; ses miroirs à incidence rasante de 0,6 à 1,2 m de diamètre devraient lui assurer une résolution 100 fois plus fine que celle des meilleures images obtenues jusqu'à présent dans le domaine X.

chaos déterministe. État désordonné d'un système dynamique résultant de l'action de forces où le hasard n'intervient pas.
ENCYCL. De nombreux systèmes physiques, quoique soumis à des actions connues où n'intervient aucune forme de hasard, présentent une évolution dynamique imprévisible en raison de leur extrême sensibilité aux conditions initiales. En astronomie, la mécanique céleste constitue le domaine d'étude privilégié de tels systèmes. Après les travaux de Laplace et de Lagrange, dans la seconde moitié du XVIIIe siècle, il semblait établi que le mouvement des corps du système solaire est quasi périodique et régulier, garantissant ainsi la stabilité du système au cours du temps : les demi-grands axes, excentricités et inclinaisons des orbites des planètes ne subissaient, pensait-on, que de petites variations autour de leurs valeurs moyennes. Un siècle plus tard, H. Poincaré tempérait ce bel optimisme, en mettant en évidence la complexité des solutions de la mécanique céleste et en montrant les limites de certaines méthodes utilisées pour calculer les trajectoires planétaires. Depuis 1988, des calculs effectués sur ordinateur montrent que les trajectoires de Mercure, Vénus, la Terre et Mars ont un comportement chaotique. La distance entre deux orbites initialement proches est multipliée par trois tous les 5 millions d'années, interdisant toute prévision au-delà de 100 millions d'années environ. Une erreur de 0,000 000 01 % sur les conditions initiales conduit à une erreur de 0,000 000 1 % au bout de 10 millions d'années mais de 100 % après 100 millions d'années. Ce mouvement chaotique provient de l'existence de résonances entre les périodes de précession des orbites de Mars et de la Terre d'une part, et de Mercure, Vénus et Jupiter d'autre part. Il en résulte que l'on ne peut pas établir les variations possibles des paramètres orbitaux des pla-

nètes ni prévoir de manière précise l'évolution du mouvement du système solaire au-delà de 100 millions d'années.
Des recherches récentes ont fait également apparaître que la dynamique chaotique joue un rôle important dans la distribution et l'évolution des astéroïdes, des comètes et des météorites. Enfin, on a pu expliquer par des phénomènes chaotiques à la fois la forme très irrégulière et allongée d'Hypérion*, l'un des satellites de Saturne, et les fluctuations rapides de sa vitesse de rotation sur lui-même.

chaotique adj. Qui tient du chaos. *Terrain chaotique :* formation du relief martien consistant en une dépression presque fermée dont le fond est parsemé d'éboulis et qui semble avoir été provoquée par un effondrement local du sol et par le ruissellement d'une grande quantité d'eau.

charge utile. Équipement ou ensemble d'équipements que transporte un véhicule spatial et qui est destiné à remplir une mission déterminée. Le terme peut s'appliquer aussi bien à un satellite par rapport au lanceur qui le porte qu'au bloc expérimental embarqué sur un satellite par rapport au satellite lui-même.

Chariot (Grand). Appellation populaire de la figure dessinée dans le ciel par les sept étoiles les plus brillantes de la Grande Ourse*.

Chariot (Petit). Appellation populaire de la figure dessinée dans le ciel par les sept étoiles les plus brillantes de la Petite Ourse*.

Charon. Unique satellite connu de Pluton, découvert en 1978 par l'Américain J.W. Christy. Demi-grand axe de son orbite : 19 640 km. Période de révolution sidérale : 6,39 j (identique à la période de rotation de Pluton, ce phénomène étant imputé à un effet de résonance gravitationnelle). Diamètre : 1 250 km.
ENCYCL. Avec un diamètre de l'ordre de la moitié de celui de sa planète, Charon représente un cas unique dans le système solaire (pour mémoire, celui de la Lune est égal à un peu plus du quart de celui de la Terre, ce qui est déjà exceptionnel). Sa masse reste incertaine : selon des observations effectuées depuis le sol terrestre, elle atteindrait 16 % de celle de Pluton ; les deux astres auraient une densité moyenne voisine de 2, et Charon serait constitué d'environ 70 % de roches et 30 % de glace. Mais selon d'autres résultats, obtenus à l'aide du télescope spatial Hubble, sa masse ne dépasserait pas 8 % de celle de Pluton ; sa densité, inférieure à 1,3, serait nettement plus faible que celle de sa planète et impliquerait que Charon est formé principalement de glace.

chasma n.m. (mot latin ; pl. *chasmaej.* Cañon, dans la nomenclature internationale du relief des surfaces planétaires.

chercheur n.m. Lunette auxiliaire, à courte focale et à grand champ, montée parallèlement au tube d'un télescope ou d'une lunette astronomique de plus grand diamètre afin de diriger plus commodément l'instrument sur l'astre que l'on désire observer. *Chercheur de comètes :* lunette à grand champ et faible grossissement utilisée pour la recherche de comètes.

Chéseaux (comète de). Comète brillante découverte indépendamment par le Hollandais Klinkenberg à Haarlem le 9 décembre 1743 et par le Suisse J.P. de Chéseaux à Lausanne le 13 décembre 1743.
ENCYCL. AU début de mars 1744, peu après son passage à sa plus courte distance du Soleil, elle atteignit la magnitude - 7 (elle devint plus brillante que Vénus) et présenta une queue particulièrement spectaculaire qui se déployait sur la moitié du ciel : Chéseaux, dans son *Traité de la comète,* la décrit comme un vaste éventail sur lequel se dessinaient 11 stries brillantes semblant former un système de 6 queues orangées.

Cheval (Petit) [en latin *Equuleus,* -i], La plus petite constellation boréale, à l'est de Pégase et au nord du Verseau.
ENCYCL. C'est dans le catalogue d'Hipparque qu'on en trouve la première représentation. Son étoile la plus brillante, a *Equ,* est de magnitude 4,1.

Chevalet du Peintre (en latin *Apparatus Pictor, -oris).* Constellation australe introduite par La Caille en 1752 et appelée aujourd'hui Peintre*.

Chevelure de Bérénice (en latin *Coma -ae Berenices).* Petite constellation boréale. Elle ne renferme que des étoiles peu brillantes, mais elle abrite l'un des amas de galaxies les mieux connus, l'amas de *Coma*.*

chevelure n.f. Nébulosité diffuse, approximativement sphérique ou ovoïdale, entourant le noyau d'une comète au voisinage du Soleil, et constituée de gaz et de poussières éjectés par ce noyau.

Chèvre (la). Nom français de l'étoile *Capella*.*

Chicxulub (mot maya signifiant *ta queue du diable).* Nom donné à un cratère fossile de plus de 200 km de diamètre, découvert en 1990, centré sur le village de Puerto Chicxulub, dans la péninsule du Yucatân, au Mexique.
ENCYCL. Les caractéristiques géologiques du cratère de Chicxulub incitent de nombreux spécialistes à considérer qu'il a été creusé, il y a 65 millions d'années, par l'impact d'un astéroïde ou d'un noyau cométaire de 10 à 20 km de diamètre et qu'il représente le vestige du cataclysme ayant marqué la transition entre le crétacé et l'ère tertiaire, qui provoqua l'extinction de nombreuses espèces, en particulier des dinosaures.

Chien (Grand) [en latin *Canis Major; -oris].* Constellation australe.
Son étoile principale, *a C Ma,* est Sirius*, l'étoile la plus brillante du ciel. Celle-ci réglait jadis le calendrier égyptien : son lever héliaque indiquait le retour du solstice d'été et de la crue du Nil.
La constellation renferme plusieurs amas stellaires accessibles avec de petits instruments, notamment l'amas ouvert M 41, à 4° au sud de Sirius, déjà perceptible à l'œil nu comme une tache diffuse.

Chien (Petit) [en latin *Canis Minor, -oris].* Constellation équatoriale. Son étoile la plus brillante, a *CMi,* est Procyon*.

Chiens de Chasse (en latin *Canes venatici, -orum).* Constellation boréale, introduite par Hevelius vers 1660. Son étoile principale est *Cor Caroli.* Elle renferme, entre autres curiosités, l'amas globulaire M 3, discernable aux jumelles, et la galaxie spirale M 51 : celle-ci fut repérée pour la première fois en 1772 par Charles Messier*, comme une petite nébulosité, mais c'est lord Rosse* qui, le premier, en 1845, mit en évidence sa forme en spirale. On sait aujourd'hui qu'il s'agit d'une galaxie distante de 15 millions d'années de lumière environ.

Chiron. Astéroïde 2060, découvert en 1977 par l'Américain C.T. Kowal. Distance au Soleil : variable entre 1,3 et 2,8 milliards de kilomètres. Période de révolution sidérale : 50,68 ans. Diamètre : entre 180 et 260 km.
ENCYCL. Il offre la particularité de décrire une orbite très allongée (excentricité : 0,379) et de graviter très au-delà de la ceinture d'astéroïdes. entre l'orbite de Saturne et celle d'Uranus, dans une région du système solaire où l'on n'avait jamais observé d'astéroïde avant sa découverte. Des observations dans l'infrarouge ont révélé qu'il s'agit d'un corps presque sphérique et que sa surface est modérément sombre, ce qui suggère qu'elle est rocheuse ou poussiéreuse, avec peut-être une certaine proportion de glace. On a pu établir aussi que Chiron tourne sur lui-même en 5,9 h et l'on a constaté qu'il est sujet à des sursauts d'éclat. En se rapprochant du Soleil, il a développé une atmosphère ténue de gaz et de poussières et on le considère désormais comme une comète périodique (désignée sous l'appellation 95P/Chiron).

Chkslovsky (Iossif S.), astrophysicien soviétique (Gloukhov, Arménie, 1916 - Moscou 1985).
Il s'est illustré, notamment, en interprétant, en 1953, par un processus de rayonnement synchrotron l'émission de rayonnement des restes de supemovae, comme la nébuleuse du Crabe*. Pour expliquer certaines sources périodiques de rayonnement X, il a introduit le concept de binaires* X. Il s'est également rendu célèbre en défendant l'hypothèse de l'existence de civilisations extra-

terrestres et en suggérant, avant l'ère spatiale, que les deux petits satellites de Mars pourraient être des sphères creuses d'origine artificielle.

CHON n.inv. (mot forgé avec les symboles chimiques du carbone, de l'hydrogène, de l'oxygène et de l'azote). Type de poussières constituées principalement d'éléments légers et riches en carbone, en hydrogène, en oxygène et en azote, qui ont été découvertes au voisinage du noyau de la comète de Halley*.

chondrite n.f. Météorite pierreuse constituée de sphérules (appelées *chondres* ou *chondruks)* de dimensions micrométriques ou millimétriques riches en silicates (pyroxène, olivine, plagioclase).
ENCYCL. Ces météorites s'opposent aux achondrites. Elles représentent environ 80 % des météorites recueillies. Une catégorie rare est celle des chondrites carbonées, dont les chondres sont emprisonnés dans une matrice de minéraux riches en carbone. Du fait de leur composition chimique moyenne très semblable à celle du Soleil (si l'on excepte l'hydrogène et l'hélium) et de leur abondance relativement élevée en matériaux volatils, on regarde ces météorites comme des spécimens de la matière primitive du système solaire. La météorite Allende* en est le plus gros échantillon connu.

Chrétien (Jean-Loup), officier de l'armée de l'air et spationaute français (La Rochelle 1938).
Sélectionné en 1980 comme spationaute par le CNES, il a été, au terme de deux ans d'entraînement à la Cité des étoiles, le premier Français à effectuer un vol spatial, en 1982, séjournant 7 j à bord de la station orbitale soviétique Saliout 7 pour la mission PVH*. Il participe ensuite à une deuxième mission franco-soviétique de 26 j à bord de Mir en 1988, Aragatz*, puis à un vol de la navette spatiale américaine, STS 86 *(25* septembre-6 octobre 1997).

chromosphère n.f. Région de l'atmosphère d'une étoile, en particulier du Soleil, intermédiaire entre la photosphère et la couronne.
ENCYCL. La chromosphère solaire a été découverte et observée d'abord visuellement au cours des éclipses totales du Soleil (1860). Elle y apparaît comme une mince couche rose vif qui enveloppe le Soleil avec une épaisseur de l'ordre de 10 000 km. Sa coloration est due à l'émission de la plus brillante raie de son spectre visible, la raie de l'hydrogène à 6 563 Å (H a dans la série de Balmer). La chromosphère peut être étudiée aujourd'hui en dehors des éclipses au moyen de coronographes, de spectrohéliographes, de radiohéliographes travaillant aux très courtes longueurs d'onde (de 1 mm à 3,2 cm). Les observations montrent qu'en moyenne la température de la chromosphère profonde, proche de la photosphère, passe par un minimum d'environ 4 500 K, celle de la chromosphère supérieure pouvant atteindre 20 000 K. Inversement, on estime généralement que la densité électronique moyenne est 100 fois plus faible dans la haute chromosphère que dans la région basse, proche de la photosphère. En fait, la chromosphère apparaît très inhomogène, en température et en densité, et formée par une grande variété de structures : spicules, fibrilles, protubérances (ou filaments), facules brillantes (ou plages faculaires), etc. Elle est le siège de violentes éruptions*.

chronologie de lancement. Succession dans le temps des opérations et événements d'un lancement. Elle est partagée en deux périodes par l'ordre de mise à feu du lanceur : avant, c'est le compte à rebours ; après, c'est le compte positif, qui englobe tous les événements de la séquence de vol jusqu'à l'injection sur orbite de la charge utile transportée.

Chryse Planitia. Vaste plaine circulaire dans la région équatoriale nord de Mars.
ENCYCL. Centrée à 40° O., elle a été choisie comme site d'atterrissage de la sonde américaine Viking* Lander 1, en 1976. C'est probablement un bassin d'impact.

ciel n.m. Fond sur lequel on observe les astres, quel que soit le domaine spectral considéré (lumière visible, ondes radioélec-

triques, etc.). *Ciel profond :* Univers lointain, extérieur au système solaire (expression principalement utilisée par les astronomes amateurs).

cimier n.m. Trappe orientable d'une coupole abritant un instrument d'observation.

cinéthéodolite n.m. Instrument d'optique, comprenant un dispositif de pointage et un appareil cinématographique, qui fournit, entre autres, des mesures d'angle. On l'utilise pour localiser un engin spatial pendant la première phase de son vol.

Cir. Abréviation de *Circinus,* désignant la constellation du Compas.

Circinus X-1. Source de sursauts de rayonnement X, dans la constellation du Compas. Elle est associée à un système binaire dont la période orbitale est de 16,5 j et dont l'une des composantes pourrait être un trou* noir.

Circinus (-i). Nom latin de la constellation du Compas (abrév. *Cir).*

circularisation d'orbite. Manœuvre destinée à rendre circulaire une orbite. C'est grâce à une manœuvre de ce type, réalisée sous l'impulsion de son moteur d'apogée, qu'un satellite géostationnaire peut passer d'une orbite elliptique de transfert à son oibite définitive, à 36 000 km d'altitude.

circumlunaire adj. Qui entoure la Lune ou s'effectue autour de celle-ci.

circumpolaire adj. Qui est ou qui s'effectue autour d'un pôle. *Etoile circumpolaire :* étoile assez voisine de l'un des pôles célestes pour rester toujours au-dessus de l'horizon en un lieu donné. En France, les étoiles de la Grande Ourse sont circumpolaires.

drcumstellaire adj. Qui entoure une étoile. *Matière drcumstellaire :* enveloppe de ga ou de poussière qui entoure une étoile.

drcumterrestre adj. Qui entoure la Terre ou s'effectue autour de celle-ci.

cirque n.m. Sur la Lune, grand cratère d'impact météoritique bordé de remparts montagneux.

cirrus infrarouge IRAS

Cité de l'espace. Lieu d'expositions et de manifestations sur les thèmes spatiaux, ouvert au public le 28 juin 1997, à Toulouse (Haute-Garonne).

On y trouve notamment le Pavillon des expositions (réparties sur 2 000 m² et trois niveaux), un planétarium et le Parc avec un jardin astronomique et plusieurs objets spatiaux en grandeur réelle (Ariane 5, quatre modules de la station Mir, un vaisseau Soyouz, des satellites...). La construction d'une salle de cinéma Imax/Omnimax, 2D/3D, « pour l'apprentissage des connaissance par l'image », est en projet.

ADRESSE : avenue Jean Gonord - BP 5855 - 31506 Toulouse cedex 5.

Cité des étoiles. Nom donné au Centre Gagarine de préparation des cosmonautes, situé à 35 km au nord-est de Moscou.

ENCYCL. Créée en i960, c'est aujourd'hui une véritable petite ville de 5 000 habitants qui possède quelques commerces, un centre culturel avec cinéma, un groupe scolaire fréquenté par près de 800 élèves, etc. Sa raison d'être ? L'instruction et l'entraînement de quelques dizaines de cosmonautes de la CEI et de quelques étrangers appelés à voler à kurs côtés.

À cette fin s'y trouvent rassemblés tous les équipements et les installations nécessaires :

- des laboratoires médicaux pour la surveillance des cosmonautes (avant et après le vol);
- un complexe sportif pour l'entraînement physique ;
- des salles de cours pour l'enseignement théorique (dispensé sur tableau noir) ;
- des simulateurs (maquettes grandeur nature des vaisseaux spatiaux) pour l'apprentissage pratique ;
- une vaste piscine (contenant une maquette à l'échelle 1 de la station Mir) pour la préparation des activités extravéhiculaires ;
- une centrifugeuse, un caisson de dépressurisation (ou chambre d'altitude), etc.

La préparation à un vol spatial dure au

moins dix-huit mois. Elle prend fin avec le départ des cosmonautes pour Baïkonour, une dizaine de jours avant le décollage de leur lanceur.
En quarante ans, la Cité des étoiles a préparé plus de 200 cosmonautes, dont la moitié (parmi lesquels 20 % d'étrangers) sont effectivement allés dans l'espace.

civil, e adj. *Année civile :* année du calendrier, qui commence le 1er janvier à 0 h et s'achève le 31 décembre à 24 *h. Jour civil:* jour de temps civil. *Temps civil :* temps solaire moyen augmenté de douze heures. Les jours civils se comptent de minuit à minuit.

Clairaut (Alexis), mathématicien français (Paris 1713-1765).
Enfant précoce, il présenta à 12 ans un premier mémoire à l'Académie des sciences, au sein de laquelle il fut admis à 18 ans, après que le roi lui eut accordé une dispense d'âge. En 1736, il fut envoyé enLaponie avec Maupertuis pour y déterminer la longueur d'un degré de méridien. Peu après son retour, il publia sa *Théorie de la figure de la Terre* (1743), qui contribua à faire accepter en France la théorie newtonienne de la gravitation. Son ouvrage, *la Théorie de la Lune* (1752) proposa une première solution approximative du problème des trois corps, mouvement de trois points matériels s'attirant mutuellement selon la loi de Newton. Il appliqua son résultat au mouvement de la comète de Halley et, tenant compte des perturbations que la présence de Saturne et de Jupiter fait subir à l'orbite de la comète, il calcula, à un demi-mois près, la date de passage au périhélie, avec l'aide efficace de Lalande et de Mme Lepaute.

Clark (Alvan Graham), opticien et astronome américain (Fall River, Massachusetts, 1832 - Cambridge, Massachusetts, 1897).
Il fournit, dans la seconde moitié du xixe siècle, l'optique des meilleures lunettes astronomiques du monde entier. On lui doit en particulier l'objectif de la lunette de 102 cm d'ouverture de l'observatoire Yerkes et celui de la lunette de 91 cm de l'observatoire Lick. En 1862, il découvrit le compagnon de Sirius, dont l'existence avait été prévue par Bessel.

Clarke (Arthur Charles), écrivain anglais (Minehead, Somerset, 1917).
Après des études de physique et de mathématiques au King's College de Londres et un passage dans la RAF comme instructeur radar, il devient l'homologue anglais d'Isaac Asimov, publiant parallèlement d'innombrables articles de vulgarisation scientifique et des nouvelles et romans de science-fiction *(ZOOi : Odyssée de l'espace).* Président de la British Interplanetary Society (1946-1947 ; 1950-1953), il vit à Ceylan, où il étudie notamment l'astronomie et les fonds sous-marins, matières auxquelles il consacre plusieurs ouvrages. Ses préoccupations scientifiques sont sensibles dans l'ensemble de son œuvre littéraire.
Alors qu'il servait dans la RAF, il prévit l'avènement des satellites de télécommunications géostationnaires dans un article publié en octobre 1945 dans le *Wireless World* sous le titre « Extra Terrestrial Relays ».

classe de luminosité. Catégorie d'étoiles pour laquelle la magnitude absolue, qui caractérise la luminosité, est comprise entre deux limites liées au type spectral.

classe spectrale. Synonyme de type* spectral.

classification spectrale. Système de classement des étoiles d'après l'analyse de certaines caractéristiques de leurs spectres.
ENCYCL. Dans une classification unidimensionnelle, on considère une seule échelle, fondée sur la présence ou l'absence de certaines raies spectrales et sur les intensités relatives de certaines d'entre elles prises deux à deux. L'échelle obtenue est rangée' par types* spectraux et peut être graduée parallèlement en températures.
Dans une classification bidimensionnelle, on analyse en outre la finesse des raies, ce qui conduit aux classes* de luminosité, liées aux dimensions des étoiles et à la densité de leur atmosphère.
Il existe enfin des classifications tridimensionnelles, qui mettent en jeu la composition chimique, autrement dit les abondances.
HISTORIQUE. La classification unidimensionnelle de Harvard (ou classification HD) a été

et reste encore largement utilisée : elle comporte une série de types spectraux, subdivisés chacun en dix sous-types. Les Américains H. Morgan et P.C. Keenan ont introduit, en 1943, une classification bidimensionnelle (classification MK), fondée à la fois sur le type spectral et sur la classe de luminosité, et qui, perfectionnée depuis, est désormais la plus utilisée. Enfin, D. Barbier, D. Chalonge et L. Divan, de l'Institut d'astrophysique de Paris, ont mis au point une classification tridimensionnelle fondée sur trois paramètres en rapport respectivement avec le type spectral, la classe de luminosité et la composition chimique.

Clavius. L'un des plus grands cirques lunaires, près du bord sud de l'hémisphère visible de la Terre. Coordonnées : 58° S., 14° O. Diamètre : 225 km.

Clémentine. Sonde spatiale américaine d'expérimentation technologique, lancée en 1994.

ENCYCL. Conçue dans le cadre de l'Initiative* de défense stratégique et fabriquée en moins de deux ans sous l'égide du Département de la Défense des États-Unis, avec la collaboration de la NASA, cette sonde était destinée à tester dans l'espace de nouveaux composants (réseaux plans focaux infrarouges, systèmes inertiels à gyrolasers et à gyrofibres optiques, panneaux solaires à l'arséniure de gallium, mémoires à semi-conducteurs de grande capacité, etc.) et de nouvelles technologies pour les satellites militaires ou les missiles futurs des États-Unis. Sa mission n'en était pas moins purement civile. Elle consistait à procéder à la cartographie de la Lune, puis d'un astéroïde, à différentes longueurs d'onde. Parmi ses équipements figuraient quatre caméras fonctionnant dans l'ultraviolet, le visible ou l'infrarouge et permettant des prises de vues multibandes ; un lidar, pour des mesures altimétriques ; et un système français de compression de données, permettant d'accroître considérablement la quantité d'informations numériques stockées à bord et retransmises vers la Terre. Lancée le 25 janvier 1994 par une fusée Titan 1I-G et satellisée le 19 février autour de la Lune, la sonde est restée jusqu'au 3 mai en orbite autour de la Lune. Elle a transmis, à la cadence de quelque 25 000 clichés par jour, une impressionnante collection de plus d'un million de photographies de la Lune qui constitue un atlas complet de l'astre avec une résolution de 100 à 200 m. Pour la première fois, notamment, ont été obtenues des images détaillées des régions polaires, avec une résolution au sol de 40 m seulement. La prise de vues sous plusieurs longueurs d'onde a fourni, par ailleurs, de précieux renseignements sur la composition minérale du sol lunaire. Quant aux données du lidar, elles ont permis d'obtenir un modèle géodésique de la surface lunaire avec *une* précision de 100 m seulement (contre 10 km pour les relevés obtenus lors des missions Apollo).

Au terme de cette première partie de sa mission, la sonde a quitté, le 3 mai, son orbite lunaire et devait revenir frôler la Terre afin d'acquérir l'impulsion nécessaire pour se propulser vers le petit astéroïde Geographos et le survoler le 31 août. Mais, le 7 mai, une erreur de son ordinateur de bord a déclenché des manœuvres intempestives. Celles-ci ont gaspillé les réserves de carburant de la sonde, interdisant à cette dernière de poursuivre sa mission.

Clervoy (Jean-François), ingénieur et spationaute français (Longueville-les-Metz, Moselle, 1958).

Sélectionné par le CNES comme spationaute en 1985, il entre en mai 1992 dans le corps des astronautes de l'Agence spatiale européenne. Après une formation à la NASA, il participe - en tant que spécialiste de mission - à deux vols de la navette spatiale américaine : STS 66 (3-14 novembre 1994) et STS 84 (15-24 mai 1997). Il a été le cinquième Français à partir dans l'espace.

CLS (sigle de *Collecte Localisation Satellites).* Société anonyme créée en avril 1986 par le CNES, l'IFREMER et huit établissements bancaires ou financiers pour assurer l'exploitation, le développement et la promotion du système Argos de localisation et de collecte de données par satellite. Aujourd'hui elle exploite également le système DORIS d'orbitographie et de localisation précises par satellite ainsi que les données d'océanographie spatiale (ERS et Topex-Poséidon).

Cluster. L'une des deux missions (l'autre étant Soho) du programme d'étude des relations Soleil-Terre mené en coopération par l'Agence spatiale européenne et la NASA, conçue pour l'étude tridimensionnelle de la magnétosphère terrestre au voisinage de la Terre, au-dessus des régions polaires. Elle doit comporter 4 satellites identiques, de I 200 kg chacun, évoluant en orbite polaire, dans des plans différents, à des altitudes variant de 4 à 20 rayons terrestres, pour étudier simultanément, à l'aide de dix instruments, les propriétés électriques et dynamiques de la magnétosphère, et permettre, en particulier, de séparer les fluctuations spatiales des fluctuations temporelles du plasma magnétosphérique. Les 4 satellites ont été perdus lors de l'échec du premier vol de la fusée Ariane 5, en 1996, mais une nouvelle mission, Cluster II, a été financée et les nouveaux satellites seront lancés par paires, à l'aide de lanceurs russes Soyouz munis d'un étage supérieur Frégate, en principe en l'an 2000.

Cnc. Abréviation de *Cancer,* désignant la constellation du Cancer.

CNES (sigle de Centre National d'Études Spatiales). Etablissement public à caractère industriel et commercial (EPIC), chargé du développement des activités spatiales françaises.

MISSION. Créé parla loi du 19 décembre 1961, le CNES existe effectivement depuis le 1er mars 1962.

II a pour mission de proposer au gouvernement les orientations de la politique spatiale de la France et de mettre en œuvre, avec le concours de ses partenaires (industriels, entités de recherche, organismes de défense), les programmes décidés.

Le CNES conduit la politique spatiale française selon deux axes complémentaires :

- en participant aux programmes de l'Agence spatiale européenne (ESA) au sein desquels il joue un rôle majeur,
- en réalisant un programme national afin de garantir une compétitivité industrielle forte au niveau mondial.

Le CNES est en relation avec de nombreux partenaires, avec lesquels il tisse des liens de plus en plus étroits :

- les utilisateurs de l'espace, pour lesquels il identifie les techniques spatiales appropriées à leurs besoins ;
- l'industrie française vers laquelle il transfère peu à peu son savoir-faire afin de la rendre plus compétitive pour faire face aux enjeux de demain ;
- les laboratoires des grands organismes scientifiques avec lesquels il travaille sur de nombreux programmes de recherche ;
- les organismes de défense, avec lesquels il participe à la construction d'un programme de défense et établit ainsi une synergie entre programmes civils et militaires ;
- les agences spatiales d'autres pays avec lesquels il coopère pour réaliser des programmes ambitieux, principalement dans le domaine scientifique ;
- les pays en voie de développement, dont il soutient l'implication dans l'utilisation de techniques spatiales à des fins de connaissance, de croissance économique et de gestion des ressources.

AcnvrrÉs, Les domaines dans lesquels s'exerce cette politique sont ceux porteurs d'enjeux stratégiques et économiques les plus importants :

- l'accès à l'espace avec le programme Ariane et l'exploitation d'un centre de lancement en Guyane (le Centre spatial guyanais). Ce programme est conduit dans le cadre de l'ESA et la commercialisation des services de lancement est assurée par la société Arianespace ;
- les applications spatiales telles que l'observation de la Terre (Spot, Topex-Poséidon, Envisat, Polder, Scarab...), la météorologie (Metop), les télécommunications (Télécom 2, Stentor), la localisation (Argos), la navigation (GNSS), etc.;
- les programmes scientifiques en liaison avec les organismes de recherche, en coopération européenne ou internationale (Rosetta, Cassini-Huygens, ISO, Soho, Intégral...) ;
- les activités liées à la recherche en impesanteur et à la présence de l'homme dans l'espace et à la préparation des expériences prévues pour la Station spatiale internationale ;
- les activités liées à la Défense (Hélios, satellites radar, etc.).

MOYENS. Pour mener à bien ses activités, le

CNES dispose de différents établissements :
- le siège social à Paris ;
- la direction des lanceurs située à Évry (Essonne), chargée du programme Ariane ;
- un centre technique et opérationnel (CST) situé à Toulouse (Haute-Garonne), chargé de la préparation et du développement des projets spatiaux de satellites et de véhicules planétaires ainsi que de l'exploitation des moyens opérationnels et des moyens lourds, par exemple pour la mise et le maintien à poste des satellites ;
- une base de lancement et d'essais, le Centre spatial guyanais (CSG), située à Kourou (Guyane) ;
- un centre de lâcher de ballons (CLBA) qui dépend du CST, implanté à Aire-sur-l'Adour, dans les Landes.
Le CNES réunit 2 500 agents répartis sur ces différents sites.
BUDGET. En 1999, le budget du CNES était d'environ treize milliards de francs.
Depuis une quinzaine d'années, le CNES a engagé une politique de création de filiales à vocation commerciale de produits et services issus des techniques spatiales. Cette vingtaine d'entreprises emploient directement plus de 1 000 personnes.
DIRIGEANTS. Le conseil d'administration du CNES est composé de dix;huit membres dont sept représentants de l'Etat, cinq membres choisis en raison de leur compétence en matière spatiale et six membres élus par les salariés.

Les présidents successifs du conseil d'administration du CNES ont été : Pierre Auger (1962), Jean Coulomb (1962-1967), Jean-François Denisse (1967-1973), Maurice Lévy (1973-1976), Hubert Curien (1976-1984), Jacques-Louis Lions (1984-1992), René Pellat (1992-1994), André Lebeau (1995) et Alain Bensoussan (depuis janvier 1996).

CNO (cycle). Synonyme de cycle de Bethe*.

COBE (abréviation de *COsmic Background Explorer).* Satellite scientifique américain **lancé** en 1989 pour étudier le rayonnement **de** fond* de ciel à des longueurs d'onde millimétriques et dans l'infrarouge lointain, et **qui** a fonctionné jusqu'en 1993.
wcra,. Ses observations ont conforté la théorie du Big* Bang en confirmant que le spectre du rayonnement de fond de ciel coïncide avec celui d'un corps noir à la température de 2,726 K et en mettant en évidence de très faibles fluctuations de température (de l'ordre de 30 millionièmes de degré) selon les directions d'observation, ces fluctuations pouvant être interprétées comme des indices d'inhomogénéités de densité susceptibles d'expliquer la formation ultérieure des galaxies.

Cocher (en *latinAuriga, -ae).* Constellation boréale.
Son étoile la plus brillante est *Capella,* facile à identifier en prolongeant soit l'arc formé par la queue de la Petite Ourse, soit la ligne des étoiles 8 et a de la Grande Ourse dans la direction opposée à la queue de l'Ourse. L'étoile *e Aurigae* est l'une* des plus étranges du ciel. La constellation renferme de beaux spécimens d'amas stellaires ouverts, parmi lesquels M36, M37 et M38, discernables aux jumelles.

cœlostat n.m. Instrument optique' constitué d'un ou plusieurs miroirs plans et utilisé pour donner au faisceau lumineux qui les atteint une direction constante au cours du temps. On écrit aussi *cælostat.*

COF (sigle de l'angl. *Columbus Orbital Facility,* élément orbital Columbus). Laboratoire pressurisé habitable qui constitue le principal élément de la contribution européenne à la Station* spatiale internationale.
ENCYCL. Version réduite du laboratoire attaché primitivement envisagé dans le cadre du programme Columbus*, le COF'se présente comme un cylindre d'une longueur hors tout de 6,7 m et d'un diamètre extérieur de 4,5 m. Sa masse au lancement est voisine de 9 500 kg, sans compter la charge utile. C'est un laboratoire à usages multiples dont la configuration peut être modifiée par l'échange de bâtis normalisés contenant des équipements scientifiques et fonctionnels, un peu à la manière d'une cabine d'avion que l'on peut facilement adapter à des utilisations diverses. Il peut contenir dix bâtis pour des expériences scientifiques et trois pour le stockage d'équipements destinés à la Station et à l'équipage. Chaque bâti offre un

volume de charge utile d'environ 1,5 m^3 et peut recevoir jusqu'à 700 kg de charge utile. Le COF sera dépendant du reste de la Station pour son alimentation en énergie électrique, la dissipation thermique du laboratoire, les communications avec le sol lorsque les transmissions via le DRS* européen ne sont pas possibles et la réception du ravitaillement en provenance de la Terre.
Selon le concept de partage de l'utilisation de la Station et les accords bilatéraux entre l'ESA et la NASA, cinq des bâtis du laboratoire européen seront réservés aux expériences européennes, les autres seront utilisés par l'ensemble de la Station, la NASA ainsi que les autres agences nationales qui contribuent aux éléments d'infrastructure de la Station. Ce laboratoire sera acheminé vers la Station dans la soute de la navette spatiale américaine en principe en 2003. Au terme de sa durée de vie opérationnelle, il pourrait être ramené à terre par le même moyen de transport.

coiffe n.f. Extrémité antérieure d'un lanceur qui a pour rôle de protéger la charge utile et la case à équipements lors des préparatifs de lancement (contre l'humidité, le vent, les poussières...) et durant la traversée de la basse atmosphère. Elle est éjectée au cours de l'ascension (dans le cas d'Ariane 5, environ 3 min 10 s après le décollage, à un peu plus de 100 km d'altitude).

Col. Abréviation de *Columba,* désignant la constellation de la Colombe.

collecte de données (par satellite). Technique utilisant des satellites artificiels pour rassembler, en quelques heures et éventuellement en un seul lieu, un volume considérable d'informations prélevées en un grand nombre de sites, géographiquement dispersés.
Les satellites employés peuvent être : soit géostationnaires (exemple : Météosat) [dans ce cas, un seul satellite couvre une zone unique, mais très étendue], soit à défilement (exemple : NOAA) [la couverture d'un seul satellite peut alors être mondiale].
C'est là un moyen unique (où le satellite est sans rival) de recueillir de précieuses données d'environnement (température de l'air ou de l'eau, vitesse et direction des vents, pression atmosphérique...) en des régions inhabitées ou d'accès difficile.
Un tel système comprend nécessairement :
- des stations de mesure automatiques (appelées « plates-formes »), dotées de capteurs et d'un émetteur radio (balise). Elles peuvent être mises en place sur les supports les plus variés : navires, bouées dérivantes, icebergs, véhicules terrestres, ballons, animaux sauvages, etc. Lorsqu'elles sont mobiles, le système assure aussi leur localisation* ;
- un ou plusieurs satellites pour capter ces messages radio et les rediffuser, le moment venu, vers les stations de réception et les centres de traitement, où ils sont mis en forme à l'intention des utilisateurs.
Née pour les besoins de la météorologie, cette technique concerne aujourd'hui des domaines variés : étude de l'environnement, transport maritime, pêche, prospection et exploitation pétrolières, biologie, etc. **Argos, Sarsat**

collis n.f. (mot latin ; pl. *colles).* Petite colline, dans la nomenclature internationale du relief des surfaces planétaires.

colocalisation n.f. Regroupement de satellites géostationnaires* en une même position orbitale.

Colombe (en latin *Columba, -ae).* Petite constellation australe.
Ses étoiles les plus brillantes, a (ou *Phact),* (3, y, 5 et s *Col,* forment un alignement caractéristique suivant approximativement un parallèle céleste.

colonie de l'espace. Vaste structure qui serait assemblée dans l'espace et où pourraient vivre en totale autonomie des milliers de personnes, dans des conditions rappelant celles de la vie sur la Terre.
ENCYCL. Imaginé au début du siècle par K. Tsiolkovski, puis par d'autres précurseurs de l'astronautique, le concept de colonie de l'espace a été particulièrement étudié et popularisé à partir de *1969* par l'Américain G.-K. O'Neill. De nombreux modèles ont été proposés : habitats en forme de cylindres, de tores ou de roues, auxquels *on* imprimerait un mouvement de rotation sur

eux-mêmes pour créer à l'intérieur une pesanteur artificielle et qui pourraient être implantés au voisinage de certains des points de Lagrange* du système Terre-Lune afin de rester immobiles par rapport à la Terre et à la Lune. L'alimentation en énergie serait assurée par le Soleil.

Columba (-ae). Nom latin de la constellation de la Colombe (abrév. *Col).*

Columbia. Nom de l'un des orbiteurs de la navette spatiale américaine.
ENCYCL. Son premier lancement a eu lieu le 12 avril 1981, lors du vol inaugural de la navette.

Columbus (nom latin de Colomb, en hommage au navigateur qui découvrit, il y a cinq siècles, le Nouveau Monde). Programme européen de laboratoire spatial.
ENCYCL. Approuvé par le conseil de l'ESA lors de la session ministérielle de La Haye (Pays-Bas), en novembre 1987, Colombus représentait la contribution de l'Europe au projet de station spatiale internationale Freedom.
Ce programme comprenait initialement trois éléments distincts :
- le laboratoire attaché (en anglais, *Columbus Attached Laboratory),* module cylindrique pressurisé conçu pour être amarré en permanence à la base habitée de la station Freedom. D'un diamètre de 4 m, d'une longueur de 12,8 m et d'une masse de 25 t, il devait être principalement utilisé pour des expériences de science des matériaux, de physique des fluides et de sciences de la vie nécessitant la présence permanente de l'homme. Ce module devait être lancé et desservi par la navette spatiale américaine ;
- le laboratoire autonome (en anglais, *Columbus Free Flying Laboratory).* Composé d'un module pressurisé de 20 tonnes destiné au logement de charges utiles et d'un module de ressources non pressurisé chargé de fournir les moyens nécessaires en énergie, traitement des données, soutien vie, etc., il était destiné à recevoir des charges utiles automatiques ou télécommandées (principalement en science des matériaux, physique des fluides et sciences de la vie) nécessitant un long séjour dans un environnement exempt de toute accélération. Ce laboratoire devait être lancé par Ariane 5 et desservi en orbite par le véhicule spatial Hermes à des intervalles d'environ six mois ;
- la plate-forme polaire (en anglais, *Columbus Polar Platform).* C'était un véhicule automatique de 12 tonnes, conçu pour plusieurs années d'exploitation sur une orbite polaire héliosynchrone. Cette plate-forme, utilisée principalement pour des missions d'observation de la Terre, devait être exploitée avec une ou plusieurs plates-formes internationales.
Depuis 1992, le programme Columbus a été largement réaménagé à la suite des modifications de la station spatiale Freedom (devenue la Station* spatiale internationale après que la Russie ait accepté de s'y joindre) et des remaniements des programmes européens de vols habités.
En particulier, le laboratoire autonome a été abandonné en 1992, la plate-forme automatique a été incluse dans le programme d'observation de la Terre de l'ESA, sous le nom d'Envisat* 1, et seul le laboratoire pressurisé habitable raccordé subsiste, mais dans une configuration différente. **COF**

colure n.m. Chacun des deux grands cercles de la sphère céleste passant par les pôles célestes et par les équinoxes (colure équinoxial) pour l'un, par les solstices (colure solsticial) pour l'autre.

Com. Abréviation de *Coma Berenices,* désignant la constellation de la Chevelure de Bérénice.

Coma (amas de). Amas de galaxies situé au nord-ouest de la constellation de la Chevelure de Bérénice, à proximité du pôle galactique nord.
ENCYCL. Situé à quelque 300 millions d'années de lumière et contenant environ un millier de membres, c'est l'amas de galaxies riche le plus proche. Il constitue l'une des sources de rayonnement X les plus brillantes du ciel. La cartographie de ce rayonnement (dû au gaz chaud présent entre les galaxies) effectuée par le satellite Rosat a révélé l'existence de nombreuses hétérogénéités qui suggèrent que cet amas est plus jeune qu'on ne le pensait, qu'il n'a pas encore atteint son

équilibre et qu'il s'est formé par agglomération de structures plus petites.

Coma (-ae) Berenices. Nom latin de la constellation de la Chevelure de Bérénice (abrév. *Com).*

coma n.f. (du grec *komé* chevelure). 1. Aberration géométrique des systèmes optiques centrés pour un point objet situé hors de l'axe optique.
ENCYCL. Lorsque l'aberration de sphéricité est corrigée, la coma se présente comme une petite tache brillante, prolongée par une aigrette lui donnant l'apparence d'une comète. Le miroir parabolique fournit de telles images. **2.** En parlant d'une comète, synonyme de chevelure.

combinaison spatiale. Vêtement spécial d'une seule pièce enveloppant le corps et les membres que revêtent les spationautes à l'intérieur d'un vaisseau spatial.

comburant n.m. Substance oxydante susceptible d'entrer en réaction avec une substance réductrice *(combustible)* pour fournir de l'énergie.
ENCYCL. Le comburant peut être liquide ou solide. Dans ce dernier cas, il est mélangé intimement avec le combustible au sein d'une poudre. Les comburants liquides les plus utilisés sont l'oxygène liquide et le peroxyde d'azote (N_2O_4).

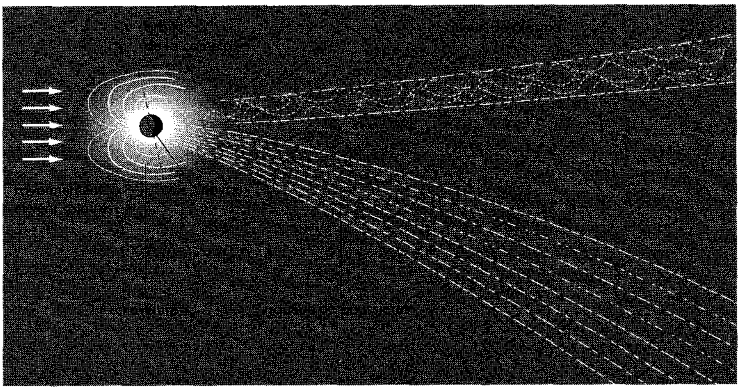
combustible n.m. Substance réductrice susceptible d'entrer en réaction avec une substance oxydante *(comburant)* pour fournir de l'énergie.
ENCYCL. Parmi les combustibles liquides fréquemment utilisés, on peut citer le kérosène, la diméthylhydrazine dissymétrique (UDMH) et l'hydrogène liquide.

combustion n.f. Réaction chimique exothermique entre un combustible et un comburant.

cométaire adj. Relatif aux comètes.

comète n.f. (du grec *komêtês,* chevelu). Astre du système solaire, formé d'un noyau solide relativement petit qui, au voisinage du Soleil, éjecte une atmosphère passagère de gaz et de poussières à l'aspect de chevelure diffuse, s'étirant dans la direction opposée au Soleil en une queue parfois spectaculaire.
ENCYCL. Loin du Soleil, une comète se réduit à un noyau solide, de forme irrégulière et de dimensions kilométriques, constitué d'un conglomérat de glaces, de poussières et de roches. Celui-ci est trop petit pour être observé directement de la Terre, et son existence a été prévue dès 1950, par l'Américain F. Whipple, avant d'être confirmée en 1986 lors du survol de la comète de Halley* par des sondes spatiales.
À mesure que ce noyau se rapproche du Soleil, il se réchauffe. Vers 600 millions de

Structure d'une **comète**



kilomètres, les glaces qu'il renferme commencent à se sublimer, libérant des gaz et des poussières en expansion rapide. Il s'entoure ainsi progressivement d'une nébulosité diffuse, la chevelure (ou coma), que sa faible gravité ne peut retenir et dont le diamètre peut dépasser 100 000 km. La diffusion de la lumière solaire et sa fluorescence au contact des gaz rendent cette nébulosité lumineuse. C'est alors que la comète devient visible.

Les molécules de la chevelure interne, dites *molécules mères,* sont peu à peu dissociées et ionisées par le rayonnement ultraviolet du Soleil, donnant alors des *molécules filles.*

Repoussés par le vent* solaire, les ions formés dans la chevelure engendrent dans la direction opposée à celle du Soleil une longue queue bleutée, rectiligne, dite *queue de gflz* (ou *de plasma),* qui s'illumine par fluorescence et peut s'étirer sur plusieurs centaines de millions de kilomètres (320 millions de kilomètres dans le cas de la grande comète de 1843). Les poussières éjectées du noyau, repoussées par la pression du rayonnement solaire, forment elles-mêmes une queue de poussières jaunâtre, plus large, plus diffuse et incurvée, qui s'éclaire par diffusion de la lumière solaire (*voir* figure).

Enfin, on sait depuis 1970, grâce à des observations effectuées dans l'ultraviolet à l'aide de satellites, que les comètes sont enveloppées d'un vaste halo d'hydrogène.

ORBms DES COMÈTES. Moins d'un millier de comètes distinctes sont actuellement répertoriées, dont certaines sont des comètes périodiques connues par plus d'une apparition. En première approximation, une comète décrit une conique (ellipse, parabole ou hyperbole) autour du Soleil. En fait, les orbites sont perturbées par l'action gravitationnelle des planètes massives et par des forces non gravitationnelles (sous l'action conjuguée de h rotation propre de l'astre et de l'éjection de matière du côté éclairé par le Soleil). Une centaine de comètes répertoriées décrivent des ellipses faiblement allongées, repassent fréquemment à proximité du Soleil (périhéSe) et ont des périodes inférieures à 20 ans ; Ions orbites sont généralement peu inclinées par rapport au plan de l'orbite terrestre rtsemblent fréquemment résulter de la cap(• e par Jupiter de comètes qui se déplaçaient antérieurement sur des orbites plus allongées. D'autres comètes ont des orbites elliptiques moyennement allongées et des périodes comprises entre 20 et 200 ans ; la comète de Halley appartient à ce groupe de comètes. Cependant, la plupart des comètes connues gravitent sur des orbites quasi paraboliques, c'est-à-dire des orbites elliptiques très allongées, ou sur des orbites faiblement hyperboliques (provenant d'ellipses ayant subi des perturbations gravitationnelles) et ont des plans orbitaux distribués dans tout l'espace. L'analyse d'un grand nombre d'orbites de comètes à longue période a conduit le Néerlandais J. Oort à postuler l'existence, aux confins du système solaire, à des distances de 40 000 à 100 000 fois, celle de la Terre au Soleil, d'un vaste halo sphérique, appelé aujourd'hui *nuage de Oort,* dans lequel se concentreraient quelque mille milliards de noyaux cométaires, représentant une masse totale équivalant à plusieurs fois celle de la Terre. C'est à la suite de perturbations gravitationnelles provoquées par des étoiles voisines du système solaire que certains des noyaux cométaires rassemblés dans cette zone se trouveraient injectés sur des orbites les amenant près du Soleil. Les noyaux cométaires peuplant plant le nuage de Oort ne se seraient pas formés in situ mais entre Jupiter et Neptune, et auraient été ensuite éjectés sur des orbites beaucoup plus lointaines par des perturbations gravitationnelles dues aux planètes géantes. Quant aux comètes à courte période, on admet aujourd'hui qu'elles proviennent d'un second réservoir cométaire, beaucoup plus proche, mais situé au-delà de Neptune et concentré près de l'écliptique : la ceinture* de Kuiper.

DÉSIGNATION DES COMÈTES. L'Union astronomique internationale applique depuis le 1er janvier 1995 un nouveau système de désignation des comètes, calqué sur celui qu'elle utilise déjà pour les astéroïdes. Lors de sa découverte, chaque comète reçoit une désignation comprenant l'année de l'observation, la lettre majuscule correspondant au rang de la quinzaine dans l'année où a été effectuée l'observation, et un numéro indiquant l'ordre d'annonce de la découverte dans la quinzaine. Par exemple, la troisième comète découverte pendant la deuxième

quinzaine de février 1995 est désignée 1995 D3. La désignation peut être complétée par un préfixe indiquant la nature de l'objet : P/ pour une comète périodique, C/ pour une comète considérée comme non périodique, X/ pour une comète pour laquelle une orbite significative n'a pu être déterminée, D/ pour une comète périodique qui a disparu ou qui n'existe plus. Les noms attribués aux anciennes comètes ne sont pas modifiés.

ÉTUDE PHYSICO-CHIMIQUE DES COMÈTES. Le grand intérêt accordé à présent aux comètes vient de ce qu'on les considère comme de véritables fossiles datant de la formation du système solaire et donc susceptibles de nous fournir des informations « de première main » sur la genèse des planètes. De plus, pour certains chercheurs, les molécules cométaires pourraient avoir joué un rôle important dans la formation de l'atmosphère des planètes, voire dans l'apparition de la vie sur la Terre.

F. Whipple proposa, vers 1950, son fameux modèle de comète en « boule de neige sale » où domine l'eau sous forme de glace - mélangée à des impuretés telles que le méthane et l'ammoniac, et intimement mêlée à des grains de poussière constitués de métaux et de silicates effectuées sur la comète de Halley **Halley (comète de).**
En effet, les radicaux et les ions que l'on identifie aux longueurs d'onde de la lumière visible ne proviennent pas directement de la sublimation des glaces du noyau ; ce ne sont que des « molécules filles », issues de la dissociation par le rayonnement solaire ultraviolet de « molécules mères », elles-mêmes nées des glaces du noyau. Ce n'est qu'avec l'essor des observations spectroscopiques dans l'infrarouge et le domaine radio (où se trouvent des bandes d'émission intenses associées respectivement aux vibrations et aux rotations des molécules mères) et grâce à l'exploration in situ de la comète de Halley que l'on a pu enfin mettre en évidence certaines des molécules directement échappées du noyau. Si l'eau est bien le composant essentiel des glaces cométaires, celles-ci contiennent également du monoxyde et du dioxyde de carbone, du formaldéhyde, du méthanol, du sulfure d'hydrogène et de l'acide cyanhydrique. La présence du monoxyde de carbone et du sulfure d'hydrogène, composés extrêmement volatils, indique que le matériau cométaire s'est condensé à des températures particulièrement basses. On observe, par ailleurs, de nombreuses similitudes entre les grains de poussière cométaires et ceux des nuages interstellaires. Les diverses observations effectuées sur la comète de Halley confirment que les noyaux cométaires sont bien les échantillons les plus représentatifs du système solaire primitif. Formés loin du Soleil, ils ont pu retenir de nombreux éléments volatils de la nébuleuse solaire sous forme de glaces. Maintenus ensuite à des températures très basses, ils n'ont l'exception peut-être de leur surface qui a reçu l'irradiation séculaire des rayons cosmiques et de l'ultraviolet solaire.

Malgré ces progrès récents, les comètes conservent encore une bonne part de leur mystère. Par exemple, l'abondance de certaines molécules fondamentales, comme l'ammoniac ou le méthane, reste incertaine, et l'on ignore aussi le degré de complexité que peuvent atteindre les molécules des noyaux cométaires. Une autre énigme concerne les sursauts d'activité de certaines comètes, comme Schwassmann*-Wachmann 1, loin du Soleil, sachant qu'à des distances du Soleil supérieures à 3 unités astronomiques la température d'un noyau cométaire est bien trop faible pour que l'eau qu'il contient puisse se sublimer. Un premier élément de réponse a été apporté en 1994 avec la découverte d'une grande quantité de monoxyde de carbone dans la comète Schwassmann -Wachmann 1 : ce composé est extrêmement volatil et peut donc se sublimer loin du Soleil. Le mécanisme qui déclenche les sursauts d'activité reste toutefois à déterminer.

LA MORT *DES* COMÈTE *S*. Des observations récentes ont montré que les astéroïdes et les comètes ne forment pas deux populations complètement distinctes. Ainsi, Chiron*, classé comme astéroïde lors de sa découverte en 1977, est apparu par la suite entouré d'une nébulosité analogue à une chevelure cométaire. Au cours de leurs multiples révolutions autour du Soleil, les noyaux cométaires s'appauvrissent progressivement en éléments volatils, se recouvrent des poussières qui n'ont pu être entraînées et finissent

par ressembler aux astéroïdes. Tel sera le destin de la comète de Halley, dont l'activité lors de son dernier retour, en 1986, n'affectait déjà plus que 20 % de sa surface. Jusqu'à 40 % des astéroïdes gravitant près de la Terre pourraient être des comètes éteintes, dont le dégazage est achevé.
Les poussières et les débris que les comètes abandonnent à chacun de leurs retours près du Soleil se dispersent peu à peu le long de leurs orbites en donnant naissance à des essaims de météorites*. Lorsque la Terre, dans sa ronde autour du Soleil, croise ces essaims, les petits corps qu'ils rassemblent s'abattent dans l'atmosphère en y provoquant des pluies d'étoiles filantes.
Certaines comètes connaissent un destin tragique. Leur noyau se fragmente brutalement, généralement après *un* passage à très courte distance du Soleil. II peut arriver aussi qu'une comète heurte une planète : en juillet 1994, les fragments du noyau de la comète Shoemaker*-Levy 9 se sont précipités sur Jupiter ; de telles collisions doivent être fréquentes à l'échelle cosmique et il n'est pas exclu que l'une d'elles ait provoqué, sur la Terre, il y a 65 millions d'années, la disparition brutale, de nombreuses espèces vivantes, notamment celle des dinosaures. **-> Chicxulub**

l'EXPLORATION SPATIALE. Le survol, effectué par des sondes spatiales, des comètes Giacobini*-Zinner (1985), de Halley (1986) et Grigg*-Skjellerup (1992) a fait largement progresser la recherche cométaire. On envisage désormais des missions spatiales plus ambitieuses, dans lesquelles une sonde rejoindra une comète pour l'accompagner durant plusieurs mois dans son mouvement autour du Soleil et larguera à la surface de son noyau de petits compartiments scientifiques chargés d'effectuer des analyses in situ (projet européen Rosetta* projet américain Contour*) ou prélèvera des échantillons de matière cométaire et les rapportera sur la Terre pour qu'ils y soient analysés (projet américain Stardust).

Comité de l'espace. Nom usuel du Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique, créé en 1959 par l'Assemblée générale des Nations unies, l'un des principaux organismes internationaux au sein desquels s'élaborent les normes juridiques destinées à réglementer les utilisations pacifiques de l'espace.
ENCYCL. Il possède deux sous-comités, l'un scientifique, l'autre juridique, qui travaillent soit en réunion plénière, soit en groupes de travail par sujet particulier, à partir de propositions émanant d'un État ou d'un groupe d'États. Le rapport annuel que lui transmet chacun de ces sous-comités sert de base aux propositions qu'il soumet à l'Assemblée générale des Nations unies. Celle-ci peut, en outre, adopter des recommandations ou des résolutions contenant des textes de conventions internationales ouvertes à la signature des États. **droit spatial**

commande n.f. **1.** Action d'intervenir sur le fonctionnement d'un appareil ou la conduite d'une opération selon des procédures préétablies.
2. Dispositif permettant cette action.

Communauté d'États indépendants (CEI). Organisation, créée en décembre 1991, regroupant onze républiques de l'ancienne URSS (Arménie, Azerbaïdjan, Biélorussie, Kazakhstan, Kirghizistan, Moldavie, Ouzbékistan, Russie, Tadjikistan, Turkménistan, Ukraine).

compact, e adj. Se dit d'une étoile beaucoup plus dense qu'une étoile ordinaire (par exemple, une naine blanche, une étoile à neutrons ou un trou noir) ou d'une galaxie dont la luminosité par unité de surface est bien plus grande que celle d'une galaxie ordinaire.
ENCYCL. Les galaxies compactes ont été découvertes en 1964 par F. Zwicky qui en a. dressé en 1971 un important catalogue. Les études spectroscopiques ont montré que leur compacité ne résulte pas de la présence d'un grand nombre d'étoiles dans un faible volume, mais plutôt d'une distribution anormale des étoiles de différents types spectraux. Certaines de ces galaxies sont très bleues, les autres très rouges. On pense que ce sont soit des galaxies jeunes, soit des galaxies subissant une phase temporaire d'activé formation d'étoiles.

compagnon n.m. Composante d'éclat le plus faible, dans un système binaire.

comparateur à clignotement *ou* **à permutation.** Appareil permettant de comparer deux photographies d'un même champ stellaire en permutant leurs images de façon périodique dans le champ d'un microscope.
ENCYCL. Les astres qui ont changé de position ou d'éclat d'un cliché à l'autre se signalent par un sautillement ou un clignotement. On peut ainsi découvrir ou reconnaître des étoiles variables, des étoiles à grand mouvement propre, des astéroïdes, etc. SYN. USUEL : *(btink) microscope.*

Compas (en latin *Circinus, -î).* Constellation australe.
ENCYCL. Ses étoiles sont peu brillantes, la principale, *a Cir,* étant de magnitude 3,5. Elle renferme une source intense de rayonnement X, *Circinus* X-l.*

composante n.f. Chacune des étoiles d'un système double ou multiple.

composante sol. Partie d'un système spatial comprenant les installations sur Terre qui participent à son fonctionnement.

composante spatiale. Partie d'un système spatial comprenant essentiellement les engins spatiaux qui participent à son fonctionnement.

composition colorée. Représentation significative obtenue par une ou plusieurs combinaisons de couleurs. Ce type de représentation est très utilisé pour l'interprétation des images recueillies par télédétection spatiale.

compte à rebours. Partie de la chronologie de lancement qui précède l'ordre de mise à feu des moteurs du lanceur.

compteur à scintillation. Détecteur de rayonnement y.
ENCYCL. L'appareil renferme des cristaux qui émettent des éclairs lumineux quand ils sont frappés par des photons *y.* Chaque éclair (scintillation) est recueilli par un photomultiplicateur et l'on mesure ainsi le flux de rayonnement reçu.

compteur proportionnel. Détecteur de rayonnements *y* et X, analogue au compteur Geiger, mais qui fonctionne sous une tension plus faible.
ENCYCL. L'entrée d'un rayonnement ionisant déclenche dans l'appareil une décharge électrique et celle-ci engendre une impulsion de courant, dont l'intensité est proportionnelle à l'énergie de l'interaction.

Compton (effet). Processus d'interaction entre matière et rayonnement électromagnétique dû à la diffusion du rayonnement par les électrons des atomes.
ENCYCL. Lors d'une collision élastique avec un électron, un photon subit une augmentation de longueur d'onde. Cette variation, qui correspond à une perte d'énergie du photon, ne dépend pas de la longueur d'onde initiale, mais seulement de l'angle de diffusion. L'effet Compton est d'autant plus sensible que la longueur d'onde du rayonnement incident est plus petite.

Compton (observatoire de rayonnement gamma). Satellite américain d'astronomie gamma, lancé en 1991 sous le nom de GRO *(Gamma-Ray Observatory)* et rebaptisé ainsi après sa mise en orbite, en hommage au physicien américain A.H. Compton (1892-1962) qui a découvert l'effet Compton, l'un des phénomènes autorisant l'observation du rayonnement gamma.
ENCYCL. Mis en orbite le 7 avril 1991 à 450 km d'altitude par l'orbiteur *Atlantis* de la navette américaine, c'est le deuxième des grands observatoires spatiaux de la NASA, après le télescope spatial Hubble*. Long *de 1J* m pour 5,5 m de large et d'une masse voisine de 161 (dont 6,61 de charge utile), il emporte quatre détecteurs permettant la détection, la localisation et la spectroscopie des sources célestes de rayonnement gamma dans une gamme d'énergie très large, allant de 20 000 à 30 milliards d'électronvolts. Il a notamment mis en évidence l'émission de rayonnement y de haute énergie d'une variété de galaxies actives - les blazars* -, localisé plusieurs centaines de sursauts* y dont la distribution isotrope semble établir l'origine extragalactique, découvert de nouveaux pulsars* y, fait progresser l'étude des éléments radioactifs engendrés par des super-

novae* et dressé la première carte complète du ciel dans le domaine *y*.

Compton inverse (effet). Processus d'interaction entre matière et rayonnement électromagnétique, inverse de l'effet Compton.
ENCYCL. L'effet Compton inverse correspond à l'interaction d'un photon de faible énergie avec un électron de grande énergie : l'électron perd de l'énergie au profit du photon ; ce dernier acquiert donc une longueur d'onde inférieure à celle qu'il possédait avant l'interaction.
Ce processus permet d'expliquer l'émission globale de rayonnement X du ciel : des électrons se déplaçant à de très grandes vitesses, donc très énergétiques, cèdent une partie de leur énergie par interaction avec les photons du rayonnement radio et optique de l'espace (en particulier le rayonnement cosmologique à 2,7 K), et transforment ceux-ci en photons X.

comput n.m. Calcul du calendrier ecclésiastique comprenant, en particulier, la détermination de la date de la fête de Pâques*. Ses éléments sont la lettre* dominicale, le cycle* solaire, l'indiction* romaine, le nombre* d'or et l'épacts*.

Cône (nébuleuse du). Nébuleuse obscure en forme de cône, observable dans la constellation de la Licorne, près de l'étoile *S Monocerotis.*
ENCYCL. Cette nébuleuse de poussière est associée à une nébuleuse d'hydrogène ionisé et au très jeune amas stellaire ouvert NGC 2264, riche en étoiles *T Tauri,* dont l'âge est estimé à 2 millions d'années seulement. On l'appelle parfois *nébuleuse de la Quille.*

cône d'ombre. Région de l'espace pour tous les points de laquelle le Soleil est complètement occulté par une planète ou un satellite. Elle est limitée par l'un des cônes circonscrits à la fois au Soleil et à la planète ou au sateËite.

Conestoga. Petit lanceur à propergol solide développé par la société américaine Space Services Inc.
ENCYCL. Haute de 15,7 m, cette fusée a une masse au décollage de 87 t. Sa capacité de lancement est de 700 kg en orbite polaire basse. Son premier lancement, en 1995, a échoué.

Congreve (sir William), officier d'artillerie anglais (Londres 1772 - Toulouse 1828).
Impressionné par les pertes infligées aux troupes britanniques, en Inde, par les attaques des fusées de Tippoo Sahib, dernier sultan de Mysore, il sut persuader le gouvernement de son pays de l'intérêt de posséder des fusées à usage militaire et mit au point, à partir de 1804, plusieurs modèles d'armes de ce type (fusées à charges explosives, incendiaires ou de mitraille), pouvant être lancées aussi bien du sol que depuis des bateaux. D'une portée de 2 500 à 3 000 m, ces fusées furent utilisées avec succès contre Boulogne en 1806, contre Copenhague l'année suivante, puis lors de la guerre anglo-américaine de 1812.

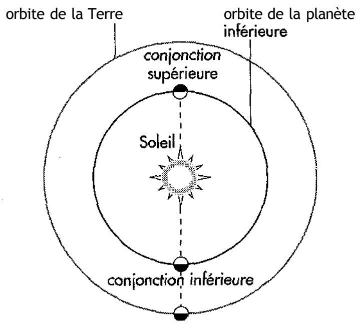
conjonction n.f. Situation de deux ou plusieurs astres ayant même longitude géocentrique ou même ascension droite.
ENCYCL. Deux ou plusieurs astres en conjonction sont observables dans la même région du ciel. On peut ainsi, par exemple, apprendre à identifier les planètes en profitant de ce qu'elles sont en conjonction avec la Lune pour les repérer. Chaque mois, le Soleil et la Lune se retrouvent en conjonction lors de la nouvelle lune : c'est la période durant laquelle la Lune est inobservable. Les planètes inférieures présentent avec le Soleil une conjonction inférieure lorsqu'elles s'interposent entre le Soleil et la Terre, et une conjonction supérieure lorsqu'elles passent, derrière le Soleil. Les planètes supérieures ne présentent qu'une seule conjonction, qui est supérieure (*voir* figure page suivante).

consommable adj. Se dit d'un matériel, en particulier d'un lanceur, ne servant qu'une seule fois, par opposition à réutilisable.

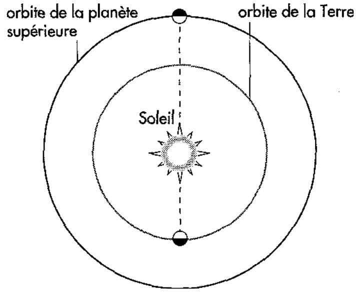
constante cosmologique cosmologique

constante de Hubble -» Hubble (constante de)

Conjonction d'une planète *inférieure*



Conjonction d'une planète supérieure



constante solaire. Flux total d'énergie solaire reçu au niveau de l'orbite de la Terre, hors de l'atmosphère, perpendiculairement, par unité de temps et de surface.

ENCYCL. Cette notion a été introduite en 1837 par le physicien français Claude Pouillet.

À présent, la constante solaire peut être mesurée avec précision grâce aux satellites artificiels : les valeurs les plus précises obtenues sont voisines de 1 367 W/m^2.

Toutefois, on a mis en évidence de légères variations liées, semble-t-il, au cycle de l'activité* solaire.

Compte tenu de l'absorption et de la réflexion atmosphériques, le flux moyen d'énergie solaire atteignant effectivement la surface terrestre n'est que de 240 W/m^2 environ. II varie, en fait, ae moins de 50 W/m^2 dans les régions polaires à plus de 260 W/m^2 dans la région équatoriale et les déserts subtropicaux.

constantes astronomiques. Ensemble de valeurs numériques conventionnelles adoptées à l'échelle internationale pour diverses grandeurs et sur lesquelles se fondent les calculs astronomiques, en particulier les éphémérides des corps du système solaire.

ENCYCL. C'est en 1896 qu'a été établi pour la première fois un système de constantes astronomiques. Celui-ci est resté en vigueur jusqu'en 1964 puis à été remplacé et modifié jusqu'à donner naissance au système actuel, en vigueur depuis 1984. L'origine des temps est le 1er janvier 2000 à 12 heures. Elle correspond au début du jour julien 2 451 545,0 et est désignée par J2000.0.

LES DIFFÉRENTES CONSTANTES.

Constante de définition

k = 0,017 202 098 95 = 0,985 607 668 6°, constante de Gauss.

Constantes primaires

c = 299 792 458 m/s, vitesse de la lumière ;

T^f = 499,004 782 s, temps de lumière pour l'unité de distance ;

R = 6 378 140 m, rayon équatorial de la Terre ;

J_2 = 0,001 082 63, facteur d'ellipticité géopotentiel de la Terre ;

GM = 3,986 005 x 10^{14} m^3/s^2, constante géocentrique de la gravitation ;

G = 6,672 x 10"u nT-kg^-s"2, constante de la gravitation ;

p = 0,012 300 02, rapport de la masse de la Lune M à la masse de la Terre M ;

p = 5 029,096 6", précession générale en longitude par siècle julien, pour J2000.0 ;

s_0 = 23° 26' 21,448", obliquité de l'écliptique pour J2000.0.

Constantes dérivées

N_0 = 9,202 5", constante de la mutation pour J2000.0 ;

A = 1,495 978 706 1 x 10^n m, unité de distance (unité astronomique) ;

arcsin (R/A) = (= 8,794 148", parallaxe solaire ;

k = 20,495 52", constante de l'aberration pour J2000.0 ;

f = 0,003 352 81 = 1/298,257, aplatissement de la Terre ;

A^3^/ D^2 = GS = 1,327 124 38 x $10^{20}$$m^3/s^2$, constante héliocentrique de la gravitation ;

GS/GM = S/M = 332 946,045, rapport de la masse du Soleil à la masse de la Terre ;

(S/M)/(l + p) = 328 900,56, rapport de la

masse du Soleil à la somme des masses de la Terre et de la Lune ;
GS/G = S = 1,989 1 x 10^{30} kg, masse du Soleil.

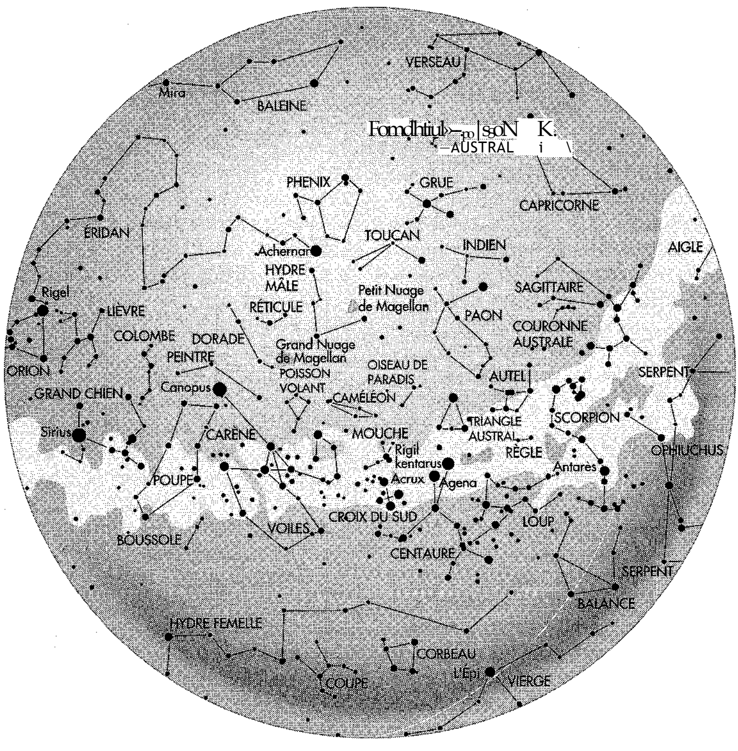
SYSTÈME DES MASSES. Rapports de masse entre le Soleil et les planètes :

Mercure	6 023 600
Vénus	408 523,5
Terre + Lune	328 900,5
Mars	3 098 71
Jupiter	1 047,355
Saturne	3 498,5
Uranus	22 869
Neptune	19 314
Pluton	130 000 000

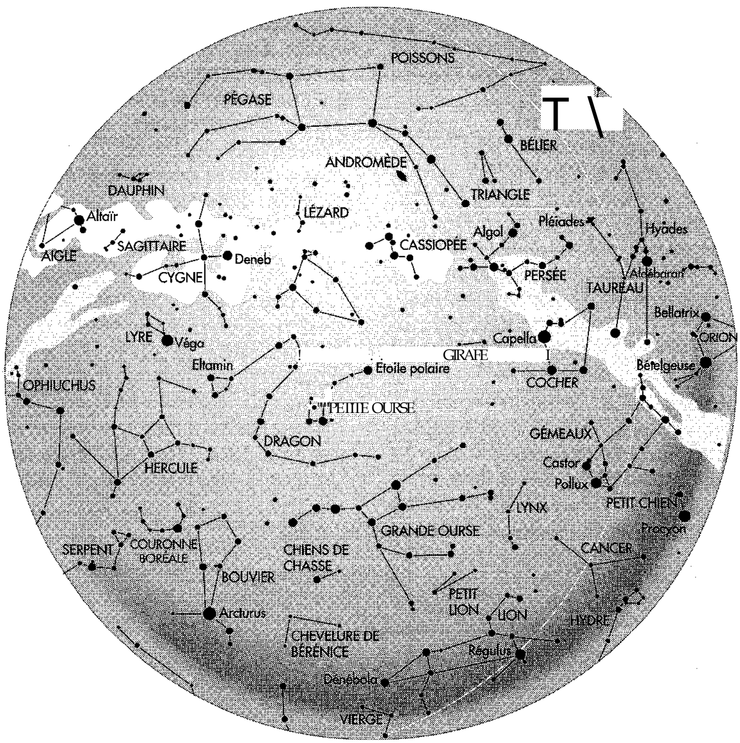
constellation n.f. 1. Groupe d'étoiles apparemment voisines, dessinant sur la sphère céleste une figure conventionnelle à laquelle **on** a donné un nom particulier. **2.** Région du ciel incluant ce groupe d'étoiles, conventionnellement délimitée avec précision par l'Union astronomique internationale.

ENCYCL. Dès les premières civilisations, les observateurs du ciel, pour repérer et désigner plus commodément les étoiles qui s'offraient à leurs regards, ont imaginé de les réunir d'après les figures plus ou moins arbitraires qu'elles dessinent dans le ciel. Ainsi sont nées les constellations, auxquelles ont été donnés des noms de héros, d'animaux ou d'objets associés à des mythes et des légendes, qui varièrent donc selon les pays.
La nomenclature actuelle s'inspire largement de la mythologie grecque. C'est, semble-t-il, Aratos, médecin et poète à la cour du souverain macédonien Ahtigonos Gonatas, au IIIe siècle avant notre ère, qui eut l'idée d'attribuer aux diverses constellations des noms tirés de la mythologie grecque. La carte de l'hémisphère céleste boréal est fon-

Principales **constellations** de l'hémisphère céleste austral



Principales **constellations** de l'hémisphère céleste boréal



dée sur celle établie au IIe siècle par Ptolémée, qui répertoria 48 constellations (*voir* figure p. suivante). Les constellations australes, en revanche, sont d'origine beaucoup plus récente, les astronomes n'ayant pu observer le ciel de l'hémisphère Sud que beaucoup plus tardivement. Ce sont principalement Bayer et Hevelius, au xviie siècle, Lalande et La Caille, au xviiie, qui les baptisèrent. La plupart ont reçu des noms d'oiseaux ou d'instruments scientifiques (*voir* figure). Longtemps, les limites des constellations restèrent imprécises. Des difficultés surgirent lorsqu'il fallut cataloguer les nombreuses étoiles de faible éclat identifiées grâce aux lunettes et aux télescopes. D'autant que certains astronomes prirent sur eux de désigner à leur gré de nouvelles figures célestes, empiétant sur les anciennes. A la fin du xixe siècle, on comptait ainsi 108 constellations, dont les limites n'étaient cependant pas unanimement reconnues. Aussi l'Union astronomique internationale a-t-elle procédé, à partir de 1992, à une révision des constellations. Suivant une suggestion de l'astronome belge E. Delporte, il a été décidé en 1927 de substituer aux délimitations imaginaires antérieures des arcs de parallèles et de méridiens. Depuis lors, l'ensemble du ciel est divisé en 88 constellations comprenant chacune, outre le groupement d'étoiles brillantes ayant servi initialement à lui donner un nom, une région du ciel conventionnellement délimitée.

DÉSIGNATION DES ÉTOILES. On désignait jadis une étoile par un nom rappelant sa position dans la figure mythologique identifiée à la constellation à laquelle appartient cette étoile. Les étoiles les plus brillantes reçurent par ailleurs, ^ et notamment des Arabes, au Moyen Age, des noms propres que l'usage a conservés : Sirius, Rigel, Aldébaran...

En 1603, l'astronome allemand Bayer eut l'idée d'introduire une nomenclature simple et rationnelle, utilisant les lettres de l'alphabet grec :

a	alpha	i	iota	P	rhô
P	bêta	K	kappa	c	sigma
y	gamma	X	lambda	X	tau
5	delta	F	mu	u	upsilon
£	epsilon	v	nu	(p	phi
ç	dzêta	S	ksi	X	khi
Tl	êta	0	omicron	V	psi
0	thêta	*n*	PI	0)	oméga

Dans chaque constellation, l'étoile la plus brillante est désignée par a, celle d'éclat immédiatement inférieur par p, puis (et ainsi de suite. Cette nomenclature, aujourd'hui universellement adoptée, comporte quelques exceptions imposées par l'usage : ainsi, l'étoile la plus brillante de la Grande Ourse est (et non a. Lorsque l'alphabet grec est épuisé, on utilise l'alphabet latin, puis des nombres. Encore ne parvient-on ainsi qu'à désigner les étoiles visibles à l'œil nu. Les étoiles d'éclat plus faible, révélées par les lunettes et les télescopes, sont désignées seulement par leur numéro d'ordre dans des catalogues de référence. Comme les constellations sont désignées officiellement par leurs noms latins (compréhensibles dans le monde entier), le nom officiel d'une étoile s'obtient en faisant suivre la lettre qui désigne cette étoile du génitif du nom latin de la constellation à laquelle elle appartient.

constellation (de satellites) n.f. Ensemble organisé de satellites identiques répartis dans plusieurs plans afin d'assurer, collectivement, une mission déterminée.
ENCYCL. Ce concept, apparu dans les années 1980, concerne essentiellement les télécommunications, la messagerie (ex. : Orbcomm), la téléphonie mobile (ex. : Iridium) et les services multimédia (ex. : SkyBridge).
La population d'une constellation s'exprime souvent en dizaines, voire en centaines, de satellites.
On distingue trois catégories de constellations :
-les constellations HEO (*Highly Ellipticai Orbit)* dont les orbites sont très excentriques **(ex.** : Molnya) ;
-les constellations MEO *(MiddleEarth Orbit)* dans lesquelles l'altitude est comprise entre 13 000 et 20 000 km ce qui correspond à des périodes de 8 à 12 h (ex. : GPS) ;
- les constellations LEO (*Low Earth Orbit)* dans lesquelles l'altitude est inférieure à 1 500 km et la période voisine de 2 h (ex. : Teledesic). -» **télécommunications spatiales**

contact (en). Se dit d'un système binaire dont les deux composantes partagent une enveloppe de matière commune.
ENCYCL. Un exemple caractéristique est celui du système *W Ursae Majoris.* Dans un tel système, les deux étoiles remplissent chacune leur lobe de Roche* et un transfert de matière peut s'opérer de la moins massive vers la plus massive.

contact n.m. Lors d'une éclipse de Soleil, chacun des instants où le limbe du Soleil est tangent à celui de la Lune.
ENCYCL. Le premier contact se produit quand le bord est de la Lune vient toucher le bord opposé du Soleil ; il marque le commencement de l'éclipsé. Le deuxième contact a lieu quand les deux astres se touchent par leur bord ouest ; il marque le commencement de l'éclipsé totale. Le troisième contact survient quand les deux astres se touchent par leur bord est : il marque la fin de l'éclipsé totale. Le quatrième contact se produit quand le disque de la Lune cesse de masquer celui du Soleil : il marque la fin de l'éclipsé.

Contour. Sonde américaine d'exploration cométaire.
ENCYCL. D'une masse de 775 kg, cette sonde du programme Discovery de Ta NASA doit être lancée en juillet 2002 et survoler successivement les comètes d'Encke (12 novembre 2003), SW3 (18 juin 2006), d'Arrest (16 août 2008), Tempel 2 (2 octobre 2015) et à nouveau la comète d'Encke (12 septembre 2023).

convection ni. Transfert de chaleur accompagné d'un transport de matière au sein d'une masse fluide.
ENCYCL. Les mouvements de convection interviennent, par exemple, dans l'eau chauffée dans une casserole. En astronomie, ce

mode de transfert de l'énergie est très répandu dans les atmosphères stellaires. L'existence de granules* sur la photosphère du Soleil est, en particulier, directement liée à la présence d'une zone convective sous-jacente.

convergent n.m. Dans un moteur-fusée, partie amont d'une tuyère, située entre la chambre de combustion et le rétrécissement du col, où débute l'accélération des gaz éjectés. Elle se prolonge par le divergent,

coorbital, e, aux adj. Se dit de satellites naturels d'une planète qui décrivent des orbites suffisamment voisines pour que leur attraction gravitationnelle mutuelle perturbe de façon cyclique leur mouvement orbital.

ENCYCL. Deux petits satellites de Saturne, Épiméthée* et Janus*, présentent la particularité d'être coorbitaux : la différence entre leurs rayons orbitaux moyens est inférieure à la somme de leurs diamètres. Ainsi, leurs vitesses orbitales sont très voisines mais non égales : le satellite intérieur rattrape lentement le satellite extérieur dans son mouvement orbital. Lorsqu'ils s'approchent l'un de l'autre, l'attraction gravitationnelle modifie leur moment angulaire. Le moment du satellite intérieur augmente et celui-ci gagne une orbite plus « haute », où sa vitesse orbitale est plus faible. En revanche, le moment du satellite extérieur diminue et ce dernier est déplacé sur une orbite plus « basse », où sa vitesse orbitale est plus grande.

Les deux satellites échangent donc leurs places. Ce pas de deux se répète tous les quatre ans.

coordonnées n.f.pl. Paramètres qui permettent de définir, dans un système de référence approprié, la position d'un point.

ENCYCL. Suivant le plan de référence adopté et l'origine choisie dans ce plan, on distingue, en astronomie :

- les coordonnées horizontales*, rapportées au plan de l'horizon (perpendiculaire à la verticale du lieu) et au point sud de l'horizon (azimut et distance zénithale ou son complément, hauteur) ;
- les coordonnées horaires*, rapportées au plan de l'équateur céleste et à l'intersection du méridien du lieu avec ce plan (angle horaire et déclinaison) ;
- les coordonnées équatoriales*, rapportées au plan de l'équateur céleste et au point vernal (ascension droite et déclinaison) ;
- les coordonnées écliptiques*, rapportées au plan de l'écliptique et au point vernal (longitude écliptique et latitude écliptique) ;
- les coordonnées galactiques*, rapportées au plan de symétrie de notre galaxie et à un point de ce plan situé dans la direction du centre galactique (longitude galactique et latitude galactique).

Copernic (Nicolas), astronome polonais (Torun, 1473 - Frauenburg, auj. Frombork, 1543).

Fils d'un riche négociant, il étudia l'astronomie d'abord à l'université de Cracovie (1491-1495), puis à celle de Bologne (1496). Nommé chanoine de Frauenburg en 1479, il obtint l'autorisation de prolonger ses études en Italie, et s'inscrivit aux facultés de médecine et de droit de l'université de Padoue. Reçu docteur en droit canon à Ferrare (1503), il retourna à Frauenburg où il fit construire un observatoire et où il demeura jusqu'à sa mort. Frappé par la complexité du système de Ptolémée, alors universellement accepté, Copernic reprit l'idée, déjà émise par certains savants de l'Antiquité comme Aristarque de Samos, d'une rotation des planètes, dont la Terre, autour du Soleil, considéré comme fixe. Cette hypothèse permettait d'expliquer simplement des phénomènes tels que les mouvements apparents des planètes dans le ciel ou la variation cyclique de leur éclat apparent. Conscient des oppositions véhémentes qu'elle allait susciter, notamment de la part des théologiens, Copernic en différa pourtant longtemps la divulgation. Publié en 1543, juste avant sa mort, au terme de longues années de réflexion et de recherche, son ouvrage fondamental, *De revolutionibus orbium coelestium,* expose son système du monde héliocentrique, qui marque l'avènement de la conception moderne de l'Univers : toutes les planètes tournent autour du Soleil, en décrivant des orbites dont les dimensions sont infimes en regard de la distance des étoiles. La Terre n'est qu'une planète comme les autres, animée d'un mouvement de rotation sur elle-

même, en 24 heures, et d'un mouvement de révolution autour du Soleil, en 1 an : sa rotation explique le mouvement diurne apparent de la sphère céleste, et sa révolution, l'alternance des saisons.
Pour la science, comme pour la philosophie, Copernic a ouvert une ère nouvelle. En affranchissant l'astronomie de l'hypothèse de l'immobilité de la Terre et en substituant au principe de respect de l'autorité des Anciens celui de la soumission aux faits comme base de toute connaissance, son œuvre a marqué un tournant essentiel dans l'histoire des idées et du progrès scientifique : c'est ce qu'on appelle la *révolution copernicienne.*

Cependant, à l'époque, aucun argument décisif ne pouvait être avancé pour prouver le mouvement de la Terre autour du Soleil. Aussi le système de Copernic eut-il d'abord beaucoup de détracteurs. Il fallut plus d'un siècle et les travaux de Tycho Brahe, de Kepler, puis surtout les découvertes de Galilée consécutives à l'invention de la lunette, ainsi que l'énoncé de la loi d'attraction universelle par Newton pour assurer son triomphe définitif.

Copernic. L'un des plus célèbres cratères de la Lune, au sud des Carpates. Coordonnées : 10° N., 20° O. Diamètre : 93 km. Nom international : *Copernicus.*
ENCYCL. Copernic est bordé de remparts à terrasses, dont le sommet surplombe de près de 4 000 m le fond du cratère, relativement plan à l'exception d'un groupe de collines centrales. Les traînées claires radiales qui l'entourent, longues de plus de 600 km (on peut les suivre aisément à la surface de la mer des Pluies), formées de matériaux éjectés lors de l'impact à l'origine de ce cratère, attestent de sa jeunesse.

copernicien, enne adj. et n. 1. Relatif au système de Copernic. **2.** Partisan du système de Copernic.

Copernicus. Nom donné au satellite d'astronomie dans l'ultraviolet OAO* 3 après sa mise en orbite.

copositionné adj. Se dit de satellites géostationnaires occupant la même position orbitale.

Coprates Chasma. L'un des grands cañons martiens, formant l'extrémité orientale de *Vallès* Marineris.*

Cor Caroli (en latin *Cœur de Charles,* nom donné à cette étoile, par Halley, au xviie siècle, en hommage au roi Charles II d'Angleterre). Étoile a des Chiens de Chasse.
ENCYCL. C'est, en fait, une étoile double, dont les composantes, de magnitude apparente visuelle 2,9 et 5,4, distantes angulairement de 20", peuvent être séparées à T'aide d'une lunette d'amateur. La plus brillante apparaît jaune d'or, l'autre violacée. Distance : 110 années de lumière.

Corbeau (en latin *Corvus, -i).* Constellation australe.
Ses étoiles les plus brillantes de magnitude voisine de 3, dessinent un quadrilatère, au sud de la Vierge. Elle abrite notamment la nébuleuse planétaire NGC 4361, perceptible avec des instruments d'au moins 80 mm d'ouverture, et deux célèbres galaxies en interaction, NGC 4038-4039, surnommées « les Antennes* ».

corde cosmique. Filament d'énergie, extrêmement mince ($10^{''2S}$ m d'épaisseur) et dense (10^{22} g/cm^3 de masse volumique), qui se serait formé peu après le Big* Bang, d'après certains théoriciens.
ENCYCL. Les cordes cosmiques auraient constitué initialement un réseau dense de lignes et de boucles se déplaçant à une vitesse proche de celle de la lumière. Au fur et à mesure de l'expansion de l'Univers, les boucles existantes auraient engendré des boucles plus petites, qui auraient elles-mêmes rayonné leur énergie sous forme d'ondes* gravitationnelles. Seules subsisteraient encore quelques-unes des cordes les plus longues, s'étendant d'une extrémité à l'autre de l'Univers observable. Mais celles qui ont disparu auraient induit des effets gravitationnels notables dans la matière froide primordiale. Les fluctuations de densité qu'elles auraient provoquées, ultérieurement amplifiées, auraient constitué le germe des galaxies et des structures les plus larges de l'Univers. Il n'existe toutefois aucun indice observationnel de leur existence.

Cordelia. Satellite d'Uranus (n° VI), découvert en 1986 par la sonde américaine Voyager 2. Demi-grand axe de son orbite : 49 800 km. Période de révolution sidérale : 0,335 j. Diamètre : 26 km.

Cordoba Durchmusterung (CD). Catalogue d'étoiles établi à l'observatoire de Cordoba (Argentine) entre 1892 et 1914, principalement *sous* la direction de J.M. Thome (1843-1908). Il donne les coordonnées et la magnitude de 578 802 étoiles australes, de déclinaison comprise entre - 2° et -22°.

cordon ombilical. Tuyau, long et flexible, qui relie un spationaute à son vaisseau durant une activité extravéhiculaire. Il constitue un lien mécanique tout en assurant l'alimentation en oxygène et la climatisation du scaphandre. Apparu à l'occasion des deux premières sorties dans l'espace, en 1965, cet équipement n'existe pas sur le fauteuil spatial (MMU ou Ikarus), qui donne à son occupant une véritable autonomie.

Corona (-ae) Australis. Nom latin de la constellation de la Couronne australe (abrév. *CrA).*

Corona (-ae) Borealis. Nom latin de la constellation de la Couronne boréale (abrév. *CrB).*

Corona Borealis (amas). Amas de galaxies situé au sud-est de la constellation de la Couronne boréale. Il rassemble plus de 400 galaxies, la plupart elliptiques, et dont les plus brillantes sont de magnitude 16. Sa distance est de 1,3 milliard d'années de lumière.

corona n.f. (mot latin ; pl. *coronae).* Structure circulaire, dans la nomenclature internationale du relief des surfaces planétaires.
ENCYCL. Les *coronae* sont particulièrement nombreuses sur Vénus. Ces structures tectoniques, dont le diamètre peut atteindre 1 000 km, sont généralement entourées par un faisceau de rides concentriques. L'intérieur est le plus souvent rempli de coulées de lave. On considère qu'elles s'apparentent aux régions terrestres dites *de points chauds,* au niveau desquelles du magma très profond remonte vers la surface.

coronal, e adj. Relatif à la couronne solaire ou à la couronne d'une étoile quelconque. *Ciel coronal :* ciel de montagne dont la pureté permet d'observer la couronne solaire. *Trou coronal :* vaste région relativement froide et peu dense de la couronne solaire, par laquelle le vent* solaire s'échappe dans l'espace interplanétaire.

coronium n.m. Élément gazeux dont on a cru reconnaître l'existence dans la couronne solaire, par analyse spectrale, mais qui s'est révélé formé d'atomes connus, fortement ionisés.
ENCYCL. L'existence du coronium avait été imaginée pour rendre compte de raies* d'émission de la couronne solaire, alors inconnues, ayant pour longueurs d'onde 5 303 et 6 374 Å. Ces raies ont été identifiées en 1942, par le Suédois B. Elden et l'Allemand W. Grotrian comme étant des raies interdites émises par des éléments très ionisés tels que le fer douze ou treize fois ionisé.

coronographe n.m. Lunette astronomique spéciale qui permet l'étude et la photographie de la couronne solaire en dehors des éclipses totales de Soleil.
ENCYCL. Conçu, réalisé et utilisé pour la première fois par le Français B. Lyot en 1930, le coronographe réalise une éclipse totale de Soleil artificielle grâce à un occulteur (disque ou cône) de même diamètre apparent que la photosphère*, et en éliminant avec le plus grand soin toutes les causes possibles de diffusion instrumentale et de lumière parasite : impuretés, défauts de polissage des lentilles, poussières, etc. Au sol, les coronographes sont en général installés en haute montagne, où la diffusion atmosphérique est faible, et équipés de caméras, spectrographes, filtres monochromatiques, etc.

Corot. Satellite d'astronomie français réalisé en collaboration internationale.
ENCYCL. Ce minisatellite de la filière Protéus* aura notamment pour tâche d'étudier la structure interne des étoiles par les techniques d'astérosismologie* et de rechercher

des planètes extrasolaires. Son lancement est envisagé en 2002.

corps noir. Corps idéal qui absorbe tout le rayonnement qu'il reçoit et le réémet intégralement.
ENCYCL. Le corps noir est en équilibre thermodynamique avec le milieu qui l'entoure. L'intensité du rayonnement d'un corps noir à la température absolue T est maximale pour une longueur d'onde X_m dont la valeur ne dépend que de la température. Cette valeur A_m est liée à la température par la relation $X_m.T$ = constante (loi de Wien). L'intensité totale du rayonnement émis par le corps noir sur l'ensemble des fréquences ne dépend que de la température T : elle est proportionnelle à T^4 (loi de Stefan).

corps parent. Corps céleste d'où est issue une météorite. Le plus souvent, il s'agit d'un astéroïde*, mais parfois de la Lune ou de Mars.

correction d'attitude. Manœuvre visant à corriger l'attitude d'un véhicule spatial. Faisant suite à une restitution d'attitude, elle s'obtient au moyen d'impulsions fournies par un système propulsif. C'est par le biais de telles corrections que peut être réalisée la commande de l'attitude d'un engin spatial, SYN : *pilotage en attitude*

correction d'orbite. Manœuvre visant à corriger les éléments orbitaux (excentricité, inclinaison, etc.) d'un véhicule spatial. Faisant suite à une restitution d'orbite, elle s'obtient au moyen d'impulsions fournies par un système propulsif. C'est par le biais de telles corrections que peut être réalisée la commande de l'orbite d'un engin spatial.

Corvus (-i). Nom latin de la constellation du Corbeau (abrév. *Crv).*

COS-B (abrév. de *COsmic-ray Satellite).* Satellite européen d'astronomie gamma (lancé le 9 août 1975, placé sur une orbite très excentrique autour de la Terre (périgée : 434 km ; apogée : 101 570 km) et qui a fonctionné jusqu'au 26 avril 1982.
ENCYCL. Il emportait un télescope destiné à l'observation du rayonnement *y* céleste dans la gamme des énergies supérieures à 20 MeV. Il a permis, notamment, de dresser la première carte du ciel dans ce domaine du spectre et a découvert l'émission de rayonnement *y* des quasars.

cosmique adj. 1. Relatif au cosmos, à l'Univers. **2.** Rayonnement cosmique → **rayonnement. 3.** Vitesse cosmique → **vitesse**

cosmique adj. Relatif au cosmos, à l'Univers. *Année cosmique :* période de révolution du Soleil autour du centre de la Galaxie (environ 240 millions d'années). *Rayonnement cosmique* ou *rayons cosmiques :* flux de particules chargées de haute énergie qui sillonnent l'espace dans toutes les directions et dont l'origine est solaire, galactique et extragalactique.
ENCYCL. Les rayons cosmiques sont des noyaux d'atomes dont les électrons ont été arrachés, des électrons et même des positrons ; leurs énergies vont de quelques millions d'électronvolts à une centaine de milliards de milliards d'électronvolts (10^{20} eV). Les noyaux du rayonnement cosmique sont essentiellement des noyaux d'hydrogène (protons) pour 90 %, des noyaux d'hélium pour 9 % et le reste (1 %) comprend des noyaux de divers éléments plus lourds.
Parmi ces derniers, les noyaux légers (lithium, béryllium, bore) représentent une proportion beaucoup plus importante que dans les atmosphères stellaires, où ils sont négligeables. Cette particularité de la composition chimique du rayonnement cosmique est due aux collisions avec le milieu interstellaire, qui brisent les noyaux lourds primaires et produisent des noyaux secondaires plus légers. Par suite des interactions qu'ils subissent au cours de leur trajet, la durée de vie des rayons cosmiques est limitée à environ 10 millions d'années. Leur distribution observée est à peu près isotrope, sans que cela implique une isotropie de la distribution des sources qui les produisent. En effet, les particules du rayonnement cosmique ne suivent pas des trajectoires en ligne droite, mais sont sans cesse déviées par les champs magnétiques des régions qu'elles

traversent (milieu interplanétaire, milieu interstellaire). L'étude des rayons cosmiques nous renseigne donc à la fois sur leurs sources d'émission et sur leur parcours dans l'espace. L'information sur les sources d'émission est surtout fournie par l'étude des électrons, qui représentent environ 1 % du total des particules du rayonnement cosmique et qui sont essentiellement des électrons primaires et non des éléments secondaires comme les noyaux légers. Les électrons de haute énergie se manifestent par l'émission de rayonnement synchrotron*. La production et l'accélération des rayons cosmiques nécessitent des mécanismes hautement énergétiques. Les rayons cosmiques produits lors des éruptions solaires ont des énergies de l'ordre de 10^s eV et ne dépassent pas 10^9 eV. Dans notre galaxie, la production de rayons cosmiques d'énergie plus élevée est entretenue par les explosions de supernovae ; le noyau de notre galaxie, les pulsars sont aussi des sources d'émission de particules de haute énergie. La contribution aux énergies les plus élevées (10^{18} eV et plus) est d'origine extragalactique (galaxies actives).

cosmodrome n.m. Synonyme de base de lancement. S'emploie surtout pour désigner les bases de lancement situées sur le territoire de la CEI.

cosmogonie n.f. (du grec *kosmos,* monde, et *gonos,* génération). Étude de la formation des corps célestes.

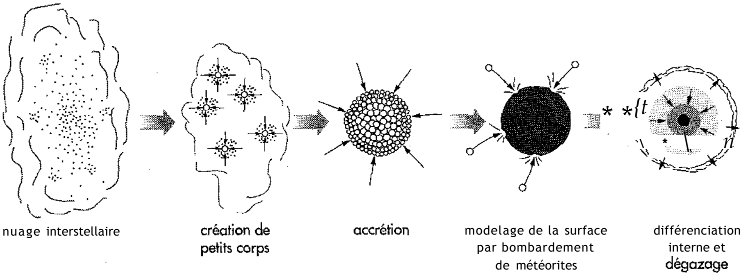
COSMOGONIE DU SYSTÈME SOLAIRE. Les théories actuelles sur l'origine du système solaire découlent des idées de Kant (1755) et de Laplace (1796), et se fondent sur les résultats de l'observation détaillée des planètes et de leurs satellites qu'a autorisée l'exploration spatiale, ainsi que sur l'analyse des météorites. Le système solaire paraît s'être formé il y a 4,556 milliards d'années, en moins de 100 millions d'années, à partir d'une nébuleuse en rotation lente. Celle-ci, en se contractant sous l'effet de son propre poids, aurait formé un disque dont la partie centrale se serait finalement effondrée pour former le Soleil, tandis que ses parties périphériques, plus froides, donnaient naissance aux planètes. Dans le disque, le gaz se serait condensé en petits grains dont la composition chimique dépendait de la température, donc de la distance au Soleil. Ces grains auraient ensuite grossi par accrétion* et formé des planétésimaux qui, par le jeu de collisions mutuelles, auraient finalement engendré les planètes (*voir* figure). Le phénomène qui déclencha l'effondrement de la nébuleuse (explosion de supernovae* ?) et la phase finale de formation des planètes restent encore mal compris.

COSMOGONIE STELLAIRE. La formation des étoiles est liée à l'évolution des nuages de matière interstellaire, à leur condensation sous l'effet de la gravitation et à leur fragmentation.

COSMOGONIE DES GALAXIES. On présume que la formation d'une galaxie* s'explique elle aussi dans le scénario général de la contraction gravitationnelle d'un immense nuage de gaz en rotation. Toutes les galaxies se seraient formées à peu près à la même époque dans l'histoire de l'Univers, 1 à 2 milliards d'années après le Big* Bang.

cosmographie n.f. Description des systèmes astronomiques de l'Univers.

Cosmogonie : processus de formation d'une planète tellurique



cosmologie ni. Étude de la structure, de l'origine et de l'évolution de l'Univers considéré dans son ensemble.

ENCYCL. Dans son acception la plus large, la cosmologie concerne tout à la fois la physique, l'astronomie et la philosophie. Depuis le début du XXe siècle, les observations astronomiques ont révélé que l'Univers est peuplé de galaxies, qu'il est en expansion et qu'il est rempli d'un rayonnement thermique qui se manifeste sous forme d'un flux d'ondes radioélectriques provenant de toutes les directions (rayonnement du fond* de ciel). La cosmologie observationnelle moderne s'efforce de rassembler le maximum de données sur l'Univers dans son ensemble par l'étude de la distribution de la matière à grande échelle, celle du mouvement des galaxies (lié au rythme de l'expansion de l'Univers), celle des propriétés (notamment de l'isotropie) du rayonnement du fond de ciel, etc.

La cosmologie théorique bâtit des modèles de structure et d'évolution de l'Univers en s'appuyant d'une part sur quelques principes fondamentaux (principe d'uniformité*, principe cosmologique*, principe d'équivalence*, principe de Mach* et, parfois, principe anthropique*), d'autre part sur un cadre mathématique qui est, en général, celui de la théorie de la relativité* générale.

Depuis un demi-siècle ont été élaborées principalement deux théories cosmologiques concurrentes : celle du Big* Bang et celle de l'état* stationnaire (ou de la création continue). Les indices observationnels en faveur de la théorie du Big Bang sont nombreux, mais celle-ci doit néanmoins affronter encore certaines difficultés.

cosmologique adj. Relatif à la cosmologie. *Constante cosmologique :* terme introduit par Einstein dans ses équations du champ gravitationnel (théorie de la relativité* générale) pour que celles-ci admettent une solution correspondant à un univers statique et qui intervient dans les modèles cosmologiques relativistes.

ENCYCL. Ce paramètre est proportionnel à la densité d'énergie du vide* et sa valeur est liée à la structure géométrique de l'Univers. Si la constante est positive, elle équivaut en quelque sorte à une force répulsive qui tend à s'opposer à l'attraction gravitationnelle et accélère l'expansion de l'Univers ; si, au contraire, elle est négative, elle équivaut à une force attractive et ralentit l'expansion des galaxies de façon constante. Depuis la découverte de l'expansion de l'Univers, la constante cosmologique était généralement considérée comme ayant une valeur nulle. Des observations récentes portant sur des supernovae* situés dans des galaxies très lointaines suggèrent cependant que sa valeur, quoique petite, est positive et non nulle. Ce résultat, s'il était confirmé, impliquerait que l'expansion de l'Univers serait infime et qu'elle connaît, depuis plusieurs milliards d'années, une phase d'accélération. *Distance cosmologique :* distance d'un objet extragalactique lointain calculée en considérant que le décalage spectral de l'objet est dû à l'effet Doppler-Fizeau et reflète une vitesse de récession consécutive à l'expansion de l'Univers. *Principe cosmologique :* l'une des hypothèses fondamentales de la cosmologie moderne, selon laquelle l'Univers, hormis des irrégularités locales, est homogène (la distribution de la matière y est partout la même) et isotrope (ses propriétés sont identiques dans toutes les directions), et présente donc le même aspect en tous ses points. *Principe cosmologique parfait :* extension du principe cosmologique selon laquelle l'Univers offre le même aspect à tous les observateurs, non seulement en tout point de l'espace et dans toutes les directions mais également en tout temps. Formulé en 1948 par H. Bondi et T. Gold, ce principe a servi de fondement à la théorie de l'état* stationnaire. *Rayonnement cosmologique à 3 K*-* **rayonnement**

cosmonaute n.m. ou f. Occupant d'un vaisseau spatial selon l'appellation russe. SYN : *spationaute*

ENCYCL. L'ex-URSS a toujours satellisé ses cosmonautes au moyen de capsules spatiales. Mise en service en 1967, la capsule Soyouz a été successivement construite en trois versions. La dernière, Soyouz TM, utilisée depuis 1986, peut transporter un équipage de trois membres :

- un commandant de bord, responsable du pilotage du vaisseau et de la conduite de la mission ;

- un ingénieur de bord, qui assiste le commandant. Une fois parvenus dans une station orbitale, ces deux cosmonautes peuvent participer aux éventuelles sorties extravéhiculaires ;
- un second ingénieur ou un expérimentateur. Expert dans une discipline scientifique, il est chargé de l'exécution d'un programme d'expériences donné, à l'exclusion de toute autre tâche.

Iouri Gagarine, cosmonaute soviétique, fut le premier homme à tourner autour de la Terre (12 avril 1961). Durant les trente-huit années qui suivirent, environ cent vingt cosmonautes (dont une trentaine d'étrangers) participèrent à une (ou plusieurs) mission(s) spatiale(s).

C'est à la Cité* des étoiles, près de Moscou, que s'entraînent les cosmonautes (russes ou étrangers) appelés à participer aux missions habitées de la Russie. Trois femmes russes ont participé à un vol spatial : V. Terechkova* (16-19 juin 1963), S. Savitskaïa* (20-27 août 1982 ; 18-29 juillet 1984) ; et H. Kondakova* (3 octobre 1994-22 mars 1995).
-» astronaute, vols habités

cosmonautique n.f. Synonyme de astronautique.

Cosmos. Petit lanceur russe, biétage, à ergols liquides, destiné à des missions scientifiques ou militaires.
ENCYCL. Dans sa version la plus récente, il mesure 32 m de haut, pèse 110 t au décollage et peut satelliser une charge utile de 1,41 en orbite basse. Plus de 700 exemplaires (tous modèles confondus) ont été utilisés depuis 1964.

cosmos n.m. L'Univers considéré dans son ensemble.

Cosmos. La plus importante famille de satellites russes.
ENCYCL. Le lancement de Cosmos 1 a eu lieu le 16 mars 1962. Au 31 décembre 1998, plus de 2 350 satellites portant le nom de « Cosmos » avaient été mis en orbite. Les lancements s'effectuent à un rythme moyen actuel de dix à vingt engins par an, le maximum ayant été atteint en 1976 avec 101 satellites lancés. En réalité, cette unicité de nom dissimule une très grande diversité dès lors qu'on examine le type d'engin utilisé (forme, dimensions, masse...), son orbite, sa durée de vie ou sa mission. Mais il est généralement admis que plus de la moitié des satellites Cosmos ont, partiellement ou totalement, une vocation militaire. Sous l'appellation Cosmos sont regroupés pêle-mêle des satellites militaires (reconnaissance photographique, surveillance des océans, écoute électronique, navigation, télécommunications...) mais aussi des satellites scientifiques (biologie, géodésie, géophysique...), des vaisseaux spatiaux inhabités, des engins expérimentaux, des éléments de station orbitale, etc. Ce mode de désignation aide parfois à passer sous silence des échecs (sondes spatiales n'ayant pu quitter le voisinage de la Terre ou satellites échoués sur une mauvaise orbite) ou des expériences technologiques ou stratégiques, par exemple des essais d'interception de satellites. Enfin, c'est dans l'anonymat du programme Cosmos que l'URSS a lancé ses premiers satellites météorologiques (Cosmos 44 en 1964 et Cosmos 122 en 1966), son premier satellite d'alerte avancée (Cosmos 520 en 1972), son premier satellite géostationnaire (Cosmos 637 en 1974) et qu'elle a réussi, en octobre 1967, le premier amarrage orbital entre deux engins automatiques (Cosmos 186 et 188).

Cosmos Club de France. Association française sans but lucratif fondée en 1963, qui contribue à promouvoir l'astronautique et les activités spatiales, notamment auprès des jeunes.
ADRESSE : 18, rue Saint-Benoît, 75006 Paris.

COSPAR (abrév. de *Committee On SPAce Research,* Comité sur la recherche spatiale). Comité créé en 1958 au sein du Conseil international des unions scientifiques, en vue de promouvoir, sur le plan international, le progrès des recherches scientifiques, de toutes sortes mettant en oeuvre l'emploi des fusées, des satellites et des ballons.
ENCYCL. Il comprend les représentants de 13 unions scientifiques internationales et des académies des sciences de 35 pays. Son secrétariat est à Paris. Son assemblée annuelle est l'occasion d'une vaste rétrospec-

tive des résultats obtenus par les différents pays dans le domaine de la recherche spatiale.

Cospas-Sarsat. Système mondial de localisation des détresses par satellites. Il a été décidé en 1979 par les Etats-Unis, le Canada et la France qui ont proposé l'instrument Sarsat (sigle de l'angl. *Search And Rescue Satellite-Aided Tracking,* recherche et sauvetage aidés par satellite), dérivé techniquement d'Argos*. L'ex-URSS les a rejoint ultérieurement avec le système Cospas (acronyme russe signifiant *système spatial de recherche des navires en détresse)* donnant au service un couverture mondiale. Plus de trente pays participent aujourd'hui à l'exploitation du système.

OBJECTIF. Ce système a pour but de démontrer que des équipements installés à bord de véhicules spatiaux peuvent améliorer nettement la détection et la localisation des signaux de détresse émis par des balises radioélectriques placées à bord d'avions, de navires ou d'autres mobiles.

MOYENS. Le système comprend : des balises (à déclenchement manuel ou automatique), qui émettent sur 121,5 MHz, avec une couverture locale en temps réel, et sur 406 MHz, avec une couverture mondiale en temps différé ; plusieurs satellites polaires (NOAA et Nadezda), qui captent et réémettent les signaux de détresse ; au sol, une quarantaine de stations de réception dans plus de vingt pays et une vingtaine de centres de contrôle pour l'interprétation des données et l'alerte des secours.

Depuis 1995, l'utilisation de satellites géostationnaire pour détecter à 406 MHz les détresses (mais sans localisation) est en cours d'évaluation.

BILAN ET PERSPECTIVES. Depuis 1982, environ 6 000 personnes ont été secourues grâce à ce système de localisation de détresses par satellites.

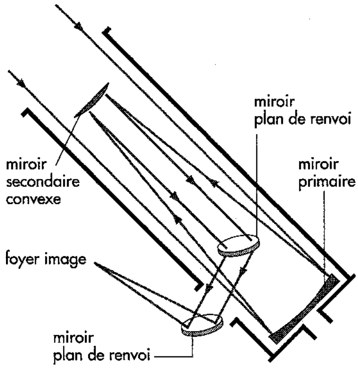
En 1999, près de 600 000 balises de détresse sont en service dans le monde.

Le temps moyen d'attente (temps écoulé entre le déclenchement de la balise et la première localisation par une station) est d'environ 90 min (par 45° de latitude) et la précision de localisation avoisine 2 km.

Côte d'Azur (observatoire de la). Établissement public qui réunit depuis 1988 le CERGA et l'observatoire de Nice.

coucher n.m. 1. Disparition d'un astre sous l'horizon. **2.** Instant de cette disparition.

Principe du télescope **coudé**



coudé, e adj. Se dit d'une combinaison optique utilisée sur certains instruments d'observation à monture équatoriale, dans laquelle le faisceau lumineux collecté par l'objectif est ramené le long de l'axe polaire par un jeu de miroirs plans, l'un étant situé à l'intersection de l'axe optique et de l'axe de déclinaison, et l'autre à l'intersection de l'axe horaire et de l'axe de déclinaison (*voir* figure) ; le foyer terminal est aussi un point fixe de l'axe horaire que l'on situe, en adaptant la focale, dans un local séparé.

ENCYCL. Ce montage permet l'utilisation d'instruments auxiliaires lourds (spectrographes, par exemple) à poste fixe dans un laboratoire distinct. Sur les grands télescopes modernes à monture altazimutale, la combinaison Nasmyth* joue le même rôle.

Couder (André), astronome français (Alençon 1897 - Suresnes, Hauts-de-Seine, 1979).

Il effectua des recherches variées concernant les instruments d'observation astronomique, l'optique atmosphérique, la vision télescopique, les propriétés des couches photographiques. Sous sa direction, le labo-

ratoire d'optique de l'Observatoire de Paris réalisa les pièces d'optique de nombreux télescopes français ou étrangers. Il a écrit notamment *Lunettes et Télescopes (1935),* en collaboration avec A. Danjon.

couleur (excès de). Différence entre l'indice de couleur observé et l'indice de couleur intrinsèque d'une étoile, que l'on peut déterminer d'après le type spectral de l'étoile. Ce paramètre renseigne sur le rougissement* subi par la lumière de l'étoile dans le milieu interstellaire.

couleur (indice de). Différence entre les magnitudes d'une étoile mesurées dans deux domaines de longueur d'onde définis.
ENCYCL. On peut définir, par exemple, l'indice de couleur B-V représentant la différence entre la magnitude B mesurée dans le bleu et la magnitude V mesurée dans le jaune (région du domaine visible à laquelle l'œil est le plus sensible). Pour une étoile de classe spectrale B, qui rayonne plus d'énergie dans le bleu que dans le jaune, la quantité B-V sera négative ; au contraire, pour une étoile de classe spectrale G (par exemple le Soleil), qui rayonne surtout dans le jaune, eEe sera positive. L'indice de couleur renseigne donc sur la distribution spectrale de l'énergie dans l'étoile,v donc sur sa température superficielle. A la différence de la magnitude, il présente l'avantage d'être indépendant de la distance. Divers indices de couleur peuvent être mesurés à partir de combinaisons de filtres variés, selon les particularités des étoiles que l'on veut analyser.

Coupe (en latin Crater, *-eris).* Constellation australe.
ENCYCL. EEe symbolise la coupe d'or dans laquelle, selon la mythologie grecque, le corbeau apporta à boire à ApoEon. Ses étoiles sont peu brillantes. Seule l'étoile 5 *Crt* est de magnitude inférieure à 4.

couple n.m. *Couple (stellaire) :* synonyme de étoile double visuelle. *Couple optique :* étoile double dont le rapprochement des composantes sur la sphère céleste n'est qu'apparent, dû à un effet de perspective. Les deux étoiles se trouvent, en fait, à des distances très différentes de la Terre, mais elles apparaissent, vues de la Terre, dans des directions voisines. *Couple physique :* étoile double dont les composantes sont liées par leur attraction mutuelle et tournent autour du centre de gravité du système qu'eUes forment, SYN : *binaire, système binaire.*

coupole ni. Dôme hémisphérique mobile, abritant un instrument d'observation. La coupole est généralement munie d'une trappe orientable utilisée pour l'observation et fermée par un cimier en dehors des périodes de travail.

courant n.m. Ensemble d'étoiles dispersées sur une grande région du ciel, dont les déplacements apparents convergent vers un même point de la sphère céleste (appelé *vertex* du courant).

courbe de lumière. Courbe représentant la variation de la magnitude apparente d'un astre, en particulier d'une étoile, en fonction du temps. Pour que les maximums d'éclat apparaissent vers le haut, on gradue l'échelle des ordonnées de haut en bas selon les magnitudes croissantes.

courbure de champ. Aberration d'un système optique centré, qui se manifeste par le fait que l'image d'un objet plan, perpendiculaire à l'axe et suffisamment étendu, n'est pas plane, mais se forme sur une surface courbe de révolution autour de l'axe. La courbure de champ nuit, de même que l'astigmatisme, à la netteté des images des points éloignés du centre du champ.

courbure de l'Univers. Propriété géométrique de l'espace-temps, dont la manifestation la plus perceptible est la gravitation, d'après la théorie de la relativité.
ENCYCL. Les phénomènes physiques ont lieu dans un espace-temps à quatre dimensions. La présence de matière dans cet espace-temps y crée une courbure d'autant plus forte que la densité de la matière y est plus grande.

Courier (mot anglais signifiant *messager).* Premier satellite actif de télécommunications.

ENCYCL. Lancé par l'US Army, il n'assura qu'un bref service de retransmission en différé à usage militaire : les messages émis depuis le sol étaient enregistrés à bord, sur bande magnétique, puis rediffusés sur interrogation d'autres stations terrestres. Courier 1B a fonctionné dix-sept jours. Son lancement, le 4 octobre 1960, avait été précédé de l'échec de celui de Courier 1A, en août de la même année.

Couronne australe (en latin *Corona, -ae Austraîis).* Constellation australe.
ENCYCL. Dépourvue d'étoiles brillantes, elle a cependant été remarquée dès l'Antiquité en raison de la disposition particulière de ses étoiles les mieux visibles (à laquelle elle doit son nom), et elle figure parmi les 48 constellations mentionnées dans l'*Almageste* de Ptolémée. L'abondance de gaz et de poussières interstellaires absorbant la lumière des astres situés en arrière-plan dans cette région du ciel explique qu'on n'y observe aucune étoile plus brillante que la magnitude 4.

Couronne boréale (en latin *Corona, -ae Borealis).* Constellation boréale.
ENCYCL. Ses sept étoiles principales dessinent une couronne bien visible entre Hercule et le Bouvier. Son étoile la plus brillante, a*CrB,* ou *la Perle*,* est de magnitude 2,3. *y CrB* est une étoile double dont les composantes, de magnitudes respectives 4,2 et 5,6, sont aisément séparables avec une lunette d'amateur. *R CrB* est le prototype d'une classe d'étoiles variables irrégulières. **(-»R Coronae Borealis)** *T CrB* est une nova récurrente : ce n'est à présent qu'une modeste étoile de magnitude 10 environ, mais en 1866 et 1946 elle a brutalement augmenté d'éclat et atteint la magnitude 2. Enfin, au sud-est de la constellation, se trouve l'important amas de galaxies *Corona* Borealis,*

couronne n.f. Région la plus externe de l'atmosphère d'une étoile, en particulier du Soleil, inhomogène et très ténue, qui se dilue progressivement dans l'espace.
ENCYCL. Observée au cours des éclipses* totales depuis l'Antiquité, la couronne solaire apparaît brusquement comme une auréole brûlante autour du Soleil dès le premier instant de la totalité. Bernard Lyot, en 1930, a montré qu'elle pouvait également être observée en dehors des éclipses grâce au coronographe*. C'est l'atmosphère externe du Soleil, composée d'un plasma très peu dense porté à une température supérieure à 10® K. Elle est observable sur tout le spectre électromagnétique, depuis les rayons X jusqu'aux ondes radioélectriques. Elle est formée d'atomes fortement ionisés.
LA COURONNE BLANCHE. Observée à l'œil nu autour du Soleil durant les éclipses, elle apparaît très inhomogène, formée par la projection sur le ciel de nombreuses structures fines. Les plus étendues et les plus nombreuses sont en forme de jets fins ou larges, de densité et de brillance variables, à allure générale radiale. Certains de ces jets peuvent être suivis jusqu'à 5 ou 6 rayons solaires du bord. Ils sont généralement associés aux protubérances*. D'autres apparaissent comme des dômes denses et très brillants, les condensations coronales, et sont associés en général aux régions actives et tachées de la photosphère*. L'aspect général de la couronne varie avec le cycle de l'activité* solaire : très circulaire et régulière en période de maximum de taches, elle est étirée démesurément en période de minimum par les jets, présents seulement dans la zone équatoriale.

COURONNES INTERNE ET EXTERNE. On appelle *couronne interne* les régions comprises entre 15 000 et 200 000 km au-dessus de la photosphère, *couronne externe* les régions situées au-delà de 200 000 km. Les expériences spatiales ont étendu les observations de la couronne jusqu'à plus de 10 rayons solaires, soit à plus de 7 millions de km du bord du Soleil. L'analyse spectrale de ces régions au bord solaire a permis de reconnaître que leur brillance était alimentée par plusieurs composantes distinctes :
a) la couronne K (couronne interne), dont le spectre, fortement polarisé, est caractérisé par des raies d'émission sur un fond continu provenant de la diffusion du rayonnement photosphérique par les électrons libres. Elle atteint la température approximative de 2.10^6 K à environ 75 000 km au-dessus de la photosphère. La densité moyenne des particules y est de l'ordre de 3.10 électrons/cm^3. Elle est très hétérogène et responsable des différentes « structures » observées ;

b) la couronne F (couronne externe), où l'on retrouve le spectre normal de la chromosphère, dit *spectre de Fraunhofer**, dû à la diffusion du même rayonnement photosphérique par les particules de poussières circumsolaires. C'est cette couronne qui s'étend dans le milieu interplanétaire et donne naissance à la lumière zodiacale*. La couronne blanche regroupe les couronnes K et F ;

c) la couronne E (couronne monochromatique), caractérisée par un spectre d'émission qui se superpose au continu de la couronne K ;

d) la couronne T, correspondant à l'émission thermique des poussières circumsolaires observées dans l'infrarouge (k = 2,2 pm) de 3,5 à 10 rayons solaires. Ces poussières semblent être concentrées dans le plan équatorial solaire.

La couronne est un milieu en perpétuelle évolution. Son équilibre est parfois brutalement rompu par le passage d'ondes de choc (transitoire coronal) provenant des instabilités des couches basses de l'atmosphère solaire (éruptions). Elle subit et répercute dans le milieu interplanétaire toutes les modifications importantes des champs magnétiques photosphériques. EEe véhicule le vent* solaire, qui s'échappe principalement par les trous coronaux.

CPD. Abréviation de *Cape Photographie Durchmusterung.*

CrA. Abréviation de *Corona Australis,* désignant la constellation de la Couronne australe.

Crabe (nébuleuse du). Nébulosité visible dans une direction voisine de l'étoile S de la constellation du Taureau*.

ENCYCL. Le nom de cette nébuleuse lui a été donné au xix[e] siècle par W. Parsons*, en raison de son aspect. Distante de quelque 6 000 années de lumière, elle s'étend progressivement dans l'espace : ses filaments, qui lui donnent son aspect caractéristique, se déploient à une vitesse d'environ 1 100 km/s. La mesure du taux de son expansion continue a conduit Hubble*, en 1928, à l'associer aux restes gazeux d'une étoile ayant subi une dislocation violente (supernova*) dont la manifestation sous la forme d'une étoile très brillante visible en plein jour avait été notée dans les annales chinoises en l'an 1054. Cette nébuleuse est une source intense de rayonnement synchrotron, et la découverte, en 1968, d'un pulsar en son centre a conduit à confirmer la théorie de formation des étoiles à neutrons lors d'une explosion de supernova.

Crabe (pulsar du). Pulsar* situé au centre de la nébuleuse du Crabe.

ENCYCL. Dès 1942, des astronomes ont suggéré qu'un vestige de l'étoile dont l'explosion avait engendré la nébuleuse du Crabe devait subsister au centre de cette nébuleuse et constituer une étoile à neutrons*. Celle-ci a été découverte en 1968 grâce à ses émissions de rayonnement radioélectrique, consistant en des impulsions séparées par des intervalles de 33 miEisecondes (décelées ensuite également en lumière visible), qui indiquent que l'étoile effectue 30 rotations sur elle-même par seconde. Des observations étalées dans le temps ont montré que la période de rotation de ce pulsar s'accroît de 36 nanosecondes par jour ; à ce rythme, sa vitesse de rotation diminue de moitié en 1 200 ans environ. Ce pulsar est une source d'électrons très rapides qui sont à l'origine des intenses émissions de rayonnement X et d'ondes radio de la nébuleuse du Crabe.

Crater (-is). Nom latin de la constellation de la Coupe (abrév. *Cri).*

cratère n.m. Dépression quasi circulaire creusée par l'impact d'une météorite à la surface d'un astre. On dit aussi *cratère d'impact* ou *cratère météoritique*

cratérisé, e adj. Parsemé de cratères, en parlant d'un sol, de la surface d'un astre.

CrB. Abréviation de *Corona Borealis,* désignant la constellation de la Couronne boréale.

création continue (théorie de la). Synonyme de théorie de l'état stationnaire.

Crèche (la). Nom français de *Praesepe**, l'amas stellaire M44, dans la constellation du Cancer.

créneau de lancement. Période pendant laquelle un lancement spatial peut être effectué pour réaliser une mission déterminée.
ENCYCL. Cette période comprend une ou plusieurs fenêtres* de lancement. Elle peut être imposée par la manutention du lanceur, en particulier par la durée limitée pendant laquelle certains ergols, comme l'hydrogène liquide, peuvent être maintenus dans les réservoirs ; elle peut aussi être déterminée par des conditions balistiques, par exemple la trajectoire de la cible pour un rendez-vous spatial ou la position d'un astre pour un tir en direction de celui-ci.

crépuscule n.m. Lueur atmosphérique due à la diffusion de la lumière solaire, après le coucher du Soleil (crépuscule du soir) ou avant son lever (crépuscule du matin).
ENCYCL. On distingue conventionnellement en astronomie trois types de crépuscule :
a) le crépuscule civil, qui correspond à une position du Soleil à moins de 6° au-dessous de l'horizon ;
b) le crépuscule astronomique, qui correspond à une position du Soleil à moins de 18° au-dessous de l'horizon et qui permet théoriquement de distinguer les étoiles les plus faibles perceptibles à l'œil nu ;
t) le crépuscule nautique, qui permet d'observer dans un sextant des étoiles de magnitude 2, alors que la ligne d'horizon reste encore visible. On admet au'il correspond à maine des ondes millimétriques. C'est, par ailleurs, un important observatoire solaire.

Crises (mer des). Grand bassin d'impact, approximativement circulaire et bordé de montagnes, près du bord nord-est de l'hémisphère de la Lune visible de la Terre (nom international : *Mare Crisium).*
ENCYCL. Visible à l'œil nu dès les premiers jours de la lunaison comme une grande tache sombre, cette formation du relief lunaire est aisément reconnaissable. Son diamètre est d'environ 500 km.

Croix du Nord. Nom parfois donné à la constellation du Cygne.

Croix du Sud (en latin *Crux, -cis).* Constellation australe, la plus petite du ciel, encastrée dans celle du Centaure.
ENCYCL. Ses quatre étoiles les plus brillantes, *a* (Acrux), P (Mimosa), y (Gacrux*) et, *Cru,* dessinent une croix très remarquable dont la grande branche (a-y) est orientée vers le pôle Sud. Visible d'Alexandrie, elle a été observée dès l'Antiquité. Ptolémée l'a toutefois laissée dans le Centaure sans en faire une constellation particulière. Nommée pour la première fois en 1515 par le Florentin Andréa Corsali, puis en 1520 par Pigafetta, compagono de Magellan dans son tour du monde, elle apparaît pour la première fois, en tant que constellation, dans *l'Uranometria* de 1. Baver, en 1603. Son asoect spectacu-

Crt. Abréviation de *Crater,* désignant la constellation de la Coupe.

Cru. Abréviation de *Crux,* désignant la constellation de la Croix* du Sud.

Crux (-cis). Nom latin de la constellation de la Croix du Sud (abrév. *Cru).*

CRV (sigle de l'angl. *Crew Rescue Vehicle,* véhicule de sauvetage d'équipage). Projet de capsule spatiale récupérable susceptible de permettre, en cas d'urgence, le retour sur la Terre des astronautes présents à bord de la Station* spatiale internationale.
ENCYCL. Le CRV doit permettre de ramener six astronautes en cas d'urgence, à partir de 2003. Un démonstrateur, le X-38, est en construction sous la responsabilité de la NASA.

Crv. Abréviation de *Corvus,* désignant la constellation du Corbeau.

cryostat n.m. Dispositif servant à maintenir à très basse température (quelques kelvins) un équipement, par exemple les détecteurs et le télescope d'un satellite d'astronomie infrarouge.

cryotechnique (du grec *kruos,* froid). 1. ni. Ensemble des techniques, des phénomènes et des propriétés qui mettent en jeu de basses températures, souvent inférieures à la température d'ébullition de l'oxygène (- 183° C, soit 90 K). À distinguer de la cryogénie, science et technique de la production du froid. **2.** adj. Qui met en oeuvre la cryotechnique (exemple : l'étage cryotechnique d'un lanceur) ou qui est élaboré et stocké à basse température (l'oxygène et l'hydrogène liquides sont des ergols ctyotechniques).

CTIO. Sigle de *Cerro Tololo Interamerican Observatory.* **Cerro Tololo (observatoire interaméricain de)**

CTV (sigle de l'angl. *Crew Transport Vehicle,* véhicule de transport d'équipage). Projet de capsule récupérable pour le transport d'équipages et de fret entre la Terre et la Station spatiale internationale.

Culgoora. Localité d'Australie, près de la ville de Narrabri, en Nouvelle-Galles du Sud, site de l'observatoire radioastronomique Paul-Wild, qui constitue une partie de l'Australia* Telescope. Un radiohéliographe y a fonctionné de 1968 à 1983.

culminant (point). Point du ciel atteint par un astre lors de son passage supérieur au méridien d'un lieu donné, correspondant à la plus grande hauteur de cet astre sur l'horizon du lieu.

culmination n.f. **1.** Passage d'un astre, du fait du mouvement diurne, par le point du ciel où cet astre atteint sa plus grande hauteur. **2.** Ce point lui-même.

culminer v.i. Atteindre sa plus grande hauteur sur l'horizon, en parlant d'un astre. Les étoiles culminent lors de leur passage supérieur au méridien*.

Curtis (Heber Doust), astronome américain (Muskegan, Michigan, 1872 - Ann Arbor, Michigan, 1942).
Il a publié en 1918 le premier atlas de nébuleuses planétaires. Lors d'un débat resté célèbre, en 1920, il s'opposa à H. Shapiey*, contestant son estimation du diamètre de la Galaxie et présentant des arguments fondés sur l'observation de certaines novae pour défendre l'hypothèse (qui devait se révéler exacte) de la nature extragalactique des nébuleuses spirales.

CXO. Sigle de Chandra X-ray Observatory.

cycle dominical (ou **solaire).** Période de 28 ans au terme de laquelle l'année recommence par le même jour de la semaine. C'est l'un des éléments du comput* ecclésiastique.

cycle lunaire (ou **de Méton).** Période de 235 lunaisons imaginée au ve s. av. J.-C. par l'astronome athénien Méton et adoptée en Grèce en 432 av. J.-C. pour mettre en accord l'année solaire et l'année lunaire.
ENCYCL. Cette période représente pratiquement l'équivalent de 19 années de 365,25 j. Au terme d'un cycle, les phases de la Lune se reproduisent aux mêmes dates.

Cyclone. Lanceur russe, à deux ou trois étages, à propergol liquide.
ENCYCL. Pesant 185 t au décollage, il peut placer environ 3 t en orbite basse. C'est, avec Zénith*, le seul lanceur russe transporté et érigé sur son aire de lancement de façon totalement automatique. De 1966 à 1998, environ 250 exemplaires de Cyclone ont été lancés de Plessetsk.

Cyg. Abréviation de *Cygnus,* désignant la constellation du Cygne.

Cygne (Boucle du). Vaste nébuleuse filamenteuse en forme d'anneau incomplet, observable dans la constellation du Cygne.
ENCYCL. Elle se situe à une distance d'environ 2 500 années de lumière. Son diamètre apparent est voisin de 3°, ce qui, compte tenu de sa distance, correspond à un diamètre réel de quelque 100 années de lumière. C'est une source de rayonnement radioélectrique dont les émissions indiquent qu'il s'agit d'un reste de supernova. L'explosion qui l'a engendrée se serait produite il y a 30 000 ans environ. La célèbre nébuleuse de la Dentelle* est une portion de cette immense structure.

Cygne (en latin *Cygnus, -i*). Constellation boréale.
ENCYCL. Ses étoiles principales dessinent dans la Voie lactée une grande croix (appelée parfois *Croix du Nord).* Ses deux étoiles les plus brillantes sont Deneb* et Albireo*, qui constituent respectivement la tête et le pied de la croix. L'étoile *61 Cygni,* située à 11,1 années de lumière, est l'une des étoiles les plus proches du système solaire, et la première dont la parallaxe ait été mesurée (par E Bessel, en 1838). Elle possède un mouvement propre important : son déplacement dans le ciel atteint 5,2" par an. C'est, d'autre part, une étoile double dont les composantes ont un mouvement de rotation perturbé, trahissant la présence d'un autre astre, invisible, probablement une planète dont la masse est estimée à 16 fois celle de Jupiter (*voir* figure). La constellation, située dans une région du ciel très riche en nébuleuses et en amas stellaires, renferme bien d'autres curiosités, notamment les célèbres nébuleuses Amérique* du Nord et de la Dentelle*. Elle abrite également plusieurs sources intenses de rayonnement X, dont *Cygnus X-1*,* qui pourrait être un trou noir, et l'étoile variable particulière *P Cygni*.*

Cygnus (-i). Nom latin de la constellation du Cygne (abrév. *Cyg).*

Cygnus A. Radiosource la plus intense de la constellation du Cygne et l'une des plus intenses du ciel.
ENCYCL. Cette radiosource est associée à une galaxie elliptique géante, identifiée en 1953, qui constitue le prototype des radiogalaxies*. Elle comprend deux lobes d'émission disposés symétriquement par rapport à la galaxie et qui s'étendent au total sur une distance d'environ 300 000 années de lumière. L'énergie associée est de 10^{53} joules environ, soit 10 millions de fois plus intense que celle correspondant au rayonnement radioélectrique d'une galaxie ordinaire.

Cygnus X-1. Source intense de rayonnement X, découverte en 1965 dans la constellation du Cygne.
ENCYCL. C'est aujourd'hui le meilleur candidat au titre de trou* noir stellaire. On a pu établir, en effet, qu'elle est associée à une étoile géante bleue, HDE 226868, distante de 6 600 années de lumière, dont la masse vaut 20 fois celle du Soleil. Or, cette étoile est l'une des composantes d'un système binaire : sa période orbitale de 5,6 j suggère qu'elle possède un compagnon invisible de masse égale à 10 fois celle du Soleil, donc trop massive pour être une étoile à neutrons. En outre, l'intensité des émissions de *Cygnus X-1* fluctue suivant un rythme inférieur au millième de seconde, ce qui indique que le diamètre de la région émettrice des rayons X ne dépasse pas 300 km : c'est là un argument supplémentaire en faveur de l'hypothèse du trou noir.

Cyrano de Bergerac (Savinien de), écrivain français (Paris 1619-1655).
On lui doit deux récits de voyages imaginaires, *Histoire comique des États et Empires de la Lune* (1657) et *Histoire comique des États et Empires du Soleil* (1662), dans lesquels il envisage des procédés variés de propulsion dans l'espace, notamment un véhicule « mû par des feux successifs de salpêtre » que l'on peut regarder comme une préfiguration de la fusée.

d

D (initiale de *Diamant).* Lettre qui, suivie d'un numéro d'ordre, a servi à désigner une dizaine de satellites français mis sur orbite par des lanceurs Diamant : D1A (— **Diapason),** D1C **(-Diadème 1),** D1D **(-Diadème 2),** D2A **(—Tournesol),** D2B **(—Aura),** D2B gamma **(—Signe 3),** D5A **(- Pollux)** et D5B (— **Castor).**

D (raies). Ensemble de deux raies intenses très voisines du spectre du sodium, dans le jaune, à *589,0* et 589,6 nanomètres de longueur d'onde. J. von Fraunhofer* avait désigné par des lettres les principales raies d'absorption qu'il avait identifiées dans le spectre solaire, et il s'agit là d'un vestige de cette notation.

Dactyle (du nom des *Dactyles,* divinités secondaires de la mythologie grecque censées vivre sur le mont Ida). Satellite de l'astéroïde Ida*, découvert sur des photographies prises en 1993 par la sonde américaine Galileo. Dimensions : 1,6 x 1,4 x 1,2 km.

Daimler-Benz Aerospace. Nouvelle dénomination du consortium aérospatial allemand Deutsche* Aerospace, adoptée depuis le 1er janvier 1995.

Danjon (André), astronome français (Caen 1890 - Suresnes 1967).
Directeur de l'Observatoire de Paris de 1945 à 1963, il a été le principal artisan du renouveau de l'astronomie française après la Seconde Guerre mondiale. Ses principaux travaux concernent la photométrie, l'enregistrement des positions d'étoiles, la mesure des étoiles doubles. En astrométrie, il a perfectionné l'astrolabe* de manière à le rendre insensible aux erreurs inhérentes à l'observateur (1951).

Danjon (échelle de). Échelle imaginée par A. Danjon pour décrire la luminosité résiduelle et la coloration du disque lunaire lors d'une éclipse totale de Lune.
ENCYCL. Cette échelle comporte cinq degrés, notés de 0 à 4 :
- 0 : éclipse très sombre, Lune à peu près invisible, surtout au milieu de la totalité ;
- 1 : éclipse sombre, grise ou brunâtre ; détails lunaires difficiles à discerner ;
- 2 : éclipse rouge sombre ou rouille, avec, le plus souvent, une tache très sombre au centre de l'ombre ; zone extérieure assez claire ;
- 3 : éclipse rouge brique ; ombre souvent bordée d'une zone grise ou jaune assez clair ;
- 4 : éclipse rouge cuivre ou orangé très clair; zone extérieure bleuâtre très lumineuse.

DARA (acronyme de *Deutsche Agentur ftir RAumfahrtangelegenheiten).* Agence spatiale allemande, créée en 1989 et dont le siège est à Bonn.

Darwin (sir George Howard), astronome et géophysicien britannique (Down 1845 - Cambridge 1912).
Second fils du biologiste Charles Darwin, il s'intéressa à l'origine et à l'évolution du système solaire, et étudia particulièrement les conséquences astronomiques ou géophysiques des interactions entre la Terre et la Lune. En 1879, il proposa l'hypothèse selon laquelle la Lune serait issue de la

Terre primitive, dont elle se serait détachée à une époque où la planète tournait sur elle-même beaucoup plus rapidement qu'aujourd'hui.

DASA, acronyme de *Deutsche* Aero-SpAce* devenu en 1995 *Daimier Chrysler Aerospace.*

Dassault Aviation. Société française de constructions aéronautiques et spatiales.
ENCYCL. Ses origines remontent à la fondation par Louis Breguet, en 1911, d'une firme dénommée « Ateliers d'aviation L. Breguet », rachetée en 1967 par le groupe Marcel Dassault fondé en 1945 et fusionnée avec celui-ci en 1971 pour constituer la Société anonyme des avions Marcel Dassault-Breguet Aviation. Elle a pris son nom actuel en 1990. Depuis 1981, son capital est contrôlé majoritairement par l'État. Dans le domaine de l'Espace, pour lequel elle a créé une Direction générale en 1990, elle poursuit de nombreuses études de systèmes et de technologies critiques applicables à un avion spatial. Les domaines étudiés concernent notamment les vitesses hypersoniques, la trajectoire atmosphérique de rentrée, la sauvegarde des spationautes, les activités extravéhiculaires, etc. La Société s'intéresse aussi au marché des microsatellites. Son siège est à Paris.

Dauphin (en latin *Delphinus, -i).* Petite constellation boréale, à l'est de Pégase.
ENCYCL. Dépourvue d'étoiles brillantes, elle est connue cependant depuis l'Antiquité, en raison de la figure très remarquable formée par ses quatre étoiles principales, a, p, 8, et y, de magnitude voisine de 4 : celles-ci dessinent un losange dont la grande diagonale est orientée sensiblement est-ouest, perpendiculairement à la ligne formée par les étoiles P-a-y de l'Aigle, situées sur sa droite. L'étoile y *Del* est une étoile double, dont les composantes, de magnitudes 4,5 et 5,5, écartées de 10", respectivement orange et bleu-vert, sont facilement séparables avec une lunette d'amateur.

David Dunlap (observatoire). Observatoire de l'université de Toronto, au Canada, à 25 km environ au N. du centre de la ville.
ENCYCL. Inauguré en 1935, il a été offert à l'université de Toronto par Mme Dunlap, en souvenir de son mari, un riche avocat passionné d'astronomie, mort en 1928 avant d'avoir pu soutenir financièrement, comme il en avait l'intention, le projet de construction d'un grand télescope défendu par un professeur d'astronomie de l'université, C.A. Chant. Son principal instrument est un télescope de 1,88 m d'ouverture, le plus grand installé au Canada. Il a fourni d'importantes contributions à la détermination des vitesses radiales stellaires ainsi qu'à l'étude des étoiles variables et des amas globulaires. L'établissement est utilisé aujourd'hui à la fois par des chercheurs et par des étudiants, et sert aussi à promouvoir l'astronomie auprès du public.

Davida. Astéroïde 511, découvert en 1903 par R.S. Dugan. Demi-grand axe de son orbite : 477 millions de km. Période de révolution sidérale : 5,70 ans. Diamètre : 320 km. C'est l'un des plus gros astéroïdes.

Dawes (William Rutter), astronome britannique (Londres 1799 - Haddenham 1868).
Doté d'une excellente acuité visuelle, il se consacra à l'étude des étoiles doubles et publia des mesures portant sur quelque 450 étoiles de ce type. En 1850, il fut devancé de peu par W.C. Bond* dans la découverte de l'anneau C de Saturne (anneau de crêpe).

DC-X. Abréviation de *Delta Clipper Expérimental.* **Delta Clipper**

De revolutionibus orbium cceles-tium. Ouvrage publié en 1543 dans lequel l'astronome polonais N. Copernic* expose sa conception héliocentrique de l'Univers.

débit n.m. Pour un moteur-fusée, quantité d'ergols consommée chaque seconde.
ENCYCL. Voici deux exemples de valeur concernant les moteurs cryotechniques d'Ariane : plus de 14 kg/s pour le HM7 du troisième étage (versions 1 à 4) et près de 250 kg/s pour le Vulcain de la version Ariane 5.

débris spatial (ou **orbital).** Objet rési-

duaire d'une mission spatiale, se trouvant sur orbite.

ENCYCL. L'activité spatiale au voisinage de la Terre est génératrice de nombreux résidus, de dimensions variées, dont le nombre croît depuis 1957. Leur origine est diverse :

- satellites artificiels hors service mais aussi multiples débris provenant de leur explosion (accidentelle ou intentionnelle lors des essais d'armes antisatellites) ou de leur dégradation (fragments de protection thermique, cellules solaires, éclats de peinture, etc.) ;
- étages supérieurs de lanceurs ou morceaux produits par centaines par leur explosion accidentelle (assez fréquente) ;
- équipements divers éjectés après utilisation (sangles, mécanismes de déploiement, gaines protectrices,...) ou perdus par les spationautes lors d'activités extravéhiculaires (par exemple, un outil ou un boulon lâché par inadvertance).

À la fin de 1998, grâce aux radars du NORAD* (capables de repérer des objets d'environ 10 cm jusqu'à 1 000 km de distance et de 1 m jusqu'à 36 000 km), la NASA avait répertorié et suivait environ 8 500 « objets » en orbite terrestre représentant une masse totale estimée à plus de 2 000 t : 6 % étaient des satellites en activité, 22 % des satellites inactifs, 17 % des étages supérieurs, 13 % des débris opérationnels et 42 % des fragments. Mais beaucoup d'autres débris, plus petits et plus nombreux, demeurent indétectables : les estimations font état de plus de 100 000 objets mesurant plus d'un centimètre et de centaines de milliers d'autres de dimensions millimétriques. Ces débris représentent un danger potentiel réel pour les satellites, automatiques et habités, et pour les hommes qui évoluent en orbite. En raison de leur vitesse élevée, ils peuvent devenir de redoutables projectiles susceptibles de perforer le scaphandre d'un spationaute ou d'endommager gravement un véhicule spatial : à 10 km/s, une poussière de 3 mm possède la même énergie cinétique (donc le même pouvoir destructeur) qu'une boule de bowling projetée à 100 km/h.

Divers incidents, jusqu'à présent mineurs, prouvent que cette crainte est fondée. La prise de conscience de ce phénomène de « pollution spatiale » est récente, mais il importe d'en tenir compte et de veiller à ne pas l'accentuer si l'on souhaite développer, en toute sécurité, les activités humaines dans l'espace au voisinage de la Terre. Dans l'état actuel des techniques, il n'existe aucun moyen de débarrasser l'espace de ces innombrables détritus. Port heureusement, la nature s'en charge en partie : depuis 1957, près de 14 000 objets de plus de 10 cm - dont environ 2 000 satellites - se sont désintégrés en rentrant dans l'atmosphère terrestre. Mais le processus est lent puisque l'espérance de vie d'un objet gravitant vers 800 km d'altitude (là où la densité des débris semble maximale) est de quelques siècles.

En fait, les objets les plus préoccupants ne sont pas nécessairement les plus volumineux : on en connaît la trajectoire et un vaisseau spatial peut manœuvrer pour les éviter. Par contre, les résidus difficilement repérables sont plus redoutables : pour le moment, on doit se contenter d'en estimer les caractéristiques (dimensions et répartition) afin d'équiper les vaisseaux spatiaux de blindage ou de bouclier protecteur suffisamment efficaces.

RETOMBÉES SUR TERRE. Des estimations statistiques font apparaître qu'en moyenne un débris spatial « détectable » rentre, chaque semaine, dans l'atmosphère terrestre et s'y désintègre en général totalement. Néanmoins, dans le cas d'objets de dimensions ou de masse élevées ou transportant des substances radioactives, la retombée sur le sol de fragments peut constituer une menace pour les populations ainsi que l'ont montré les rentrées incontrôlées du satellite Cosmos 954 au-dessus du Canada (janvier 1978), du laboratoire Skylab au-dessus de l'Australie (juillet 1979) ou de Saliout 7 au-dessus de l'Amérique du Sud (février 1991). D'où l'importance du travail assuré par les réseaux de surveillance des débris spatiaux pour informer les pays menacés et leur permettre de prendre les mesures de protection civile appropriées.

décalage spectral. Écart entre la position en longueur d'onde des raies d'un élément dans le spectre d'un astre et leur position dans un spectre de référence obtenu sur la Terre.

ENCYCL. On parle de décalage vers le rouge ou vers le bleu suivant que les raies observées sont déplacées vers les longueurs d'onde plus grandes ou plus courtes.
Il peut s'agir d'un effet Doppler*-Fizeau ou d'un décalage gravitationnel*.
Dans les modèles cosmologiques relativistes, un univers en expansion implique nécessairement un décalage vers le rouge du spectre des galaxies lointaines.
Certains objets extragalactiques (galaxies, quasars*) semblent liés physiquement (des ponts de matière sont visibles sur les photographies), ce qui suggère qu'ils sont situés à la même distance, et présentent cependant des décalages spectraux différents. On parle alors de décalages spectraux « anormaux ».

décélération n.f. Accélération négative.

décélération (paramètre de). Nombre qui mesure le ralentissement du taux d'expansion* de l'Univers sous l'effet de l'attraction gravitationnelle mutuelle des masses que celui-ci renferme.
ENCYCL. Selon que ce paramètre est inférieur, égal ou supérieur à 0,5, l'Univers est ouvert (à expansion perpétuelle), plat (à expansion perpétuelle), mais de plus en plus lente) ou fermé (son expansion sera stoppée et suivie d'une phase de contraction). Sa valeur est liée à la densité de matière de l'Univers. **-» densité critique**

déclinaison (axe de). L'un des deux axes autour desquels peut tourner un instrument d'observation astronomique à monture équatoriale (l'autre étant l'axe polaire).
BICYCL. Le mouvement autour de cet axe permet à l'instrument d'être dirigé vers des points de différentes déclinaisons pour une ascension droite donnée. La déclinaison du point vers lequel l'instrument est braqué à un instant donné est indiquée par un cercle ou un disque gradué, appelé le *cercle de décliwaison,* fixé à la monture équatoriale.

déclinaison n.f. **1.** Distance angulaire d'un point de la sphère céleste au plan de l'équateur céleste, comptée à partir de ce plan, de Oà 90°, positivement vers le nord, négativement vers le sud. C'est l'une des deux coordonnées équatoriales permettant de repérer un point sur la sphère céleste, l'autre étant l'ascension* droite. 2. Angle formé par le méridien magnétique et le méridien géographique en un point de la surface terrestre. C'est l'un des deux angles utilisés pour définir la direction du champ magnétique terrestre, l'autre étant l'inclinaison*.

déclinant adj. Caractérise un cadran solaire vertical dont le plan s'écarte du plan perpendiculaire à la direction nord-sud.

décollage n.m. Départ d'un véhicule spatial de sa base de lancement.

décours n.m. Période comprise entre la pleine lune et la nouvelle lune, durant laquelle la fraction éclairée du disque lunaire vue de la Terre décroît, SYN : *lune descendante.*

Deep Space. Famille de sondes automatiques américaines s'inscrivant dans le programme New Millenium de la NASA et destinées à tester différentes innovations technologiques.
ENCYCL. Deep Space 1 est une sonde lancée en octobre 1998, premier engin spatial à propulsion ionique. Placée en orbite autour du Soleil, elle doit, après une modification de sa trajectoire, survoler l'astéroïde 1992 KD qui coupe l'orbite de Mars et dont l'orbite est fortement inclinée sur l'écliptique.
Deep Space 2 est constituée des petits pénétrateurs embarqués à bord de la sonde Mars Polar Lander, lancée en janvier 1999.
Deep Space 3, dont le lancement est prévu vers 2001, comprendra trois satellites placés en orbite autour du Soleil de manière à former un triangle équilatéral stable de quelques centaines de mètres de côté, leurs distances mutuelles étant mesurées de façon très précise à l'aide de lasers ; l'ensemble doit former un interféromètre optique fournissant des images dont la résolution atteindra lmilliseconde d'arc (ce qui permettrait de distinguer, par exemple, les feux d'un camion circulant sur la Lune).

déférent n.m. Dans le système du monde géocentrique de Ptolémée, cercle décrit

autour de la Terre par le centre de l'épicycle d'une planète. On dit aussi *cercle déférent.*

défilement n.m. **—satellite à défilement**

dégazage n.m. Libération de gaz d'un matériau provoquée par une modification intentionnelle des conditions d'environnement.

dégazement n.m. Libération spontanée de gaz d'un matériau, à la suite d'une modification des conditions d'environnement (abaissement de la pression, élévation de la température, etc.) ou sous l'effet du vieillissement naturel.

dégénéré, e adj. Se dit de la matière extrêmement dense, réduite à l'état de gaz de particules, où la pression usuelle, due à l'agitation thermique, est négligeable devant la pression d'origine quantique, et des étoiles constituées de cette matière.
ENCYCL. Les étoiles parvenues au stade ultime de leur évolution sont constituées de matière dégénérée : gaz d'électrons libres dans le cas des naines blanches, gaz de neutrons libres dans le cas des étoiles à neutrons. Les propriétés thermodynamiques de la matière dégénérée sont très différentes de celles qui sont prévues par la thermodynamique classique.

dégradation d'une orbite. Diminution progressive de l'altitude d'un satellite causée par le frottement atmosphérique.

Deimos (mot grec signifiant *épouvante).* Satellite de Mars, découvert en 1877 par l'Américain Asaph Hall. Demi-grand axe de son orbite : 23 460 km. Période de révolution sidérale : 1,262 j, soit 30 h 18 min. Diamètre : *15,6 x 10,2 km.* Densité moyenne : 1,8.
ENCYCL. Les engins spatiaux Mariner 9 en 1971-72, puis Viking Orbiter 1 et Viking Orbiter 2 à partir de 1976 ont révélé ses caractéristiques physiques. C'est un bloc rocheux de forme irrégulière, dont la surface, très sombre (albédo voisin de 0,06), apparaît saturée de cratères, partiellement oblitérés pour la plupart. En rotation synchrone autour de Mars, il présente toujours la même face à la planète, vers laquelle son grand axe reste constamment dirigé. Il s'agit vraisemblablement d'un astéroïde capturé par l'attraction de Mars. — **Phobos**

Del. Abréviation de *Delphinus,* désignant la constellation du Dauphin.

Delambre (le chevalier Jean-Baptiste Joseph), astronome et géodésien français (Amiens 1749 - Paris 1822). Élève de Lalande, il s'est illustré en mécanique céleste par des *Tables de Jupiter et de Saturne* (1789) et une théorie d'Uranus. Après qu'eut été décidée l'instauration du système métrique (dont l'étalon de longueur devait être la dix millionième partie du quart du méridien terrestre), il participa avec Méchain à la campagne géodésique destinée à effectuer une nouvelle mesure de l'arc de méridien compris entre Dunkerque et Barcelone, et fut chargé plus spécialement de la section comprise entre Dunkerque et Rodez. Cette lourde entreprise, plusieurs fois interrompue en raison des troubles de la Révolution, ne fut achevée qu'en 1799. De 1804 à sa mort, Delambre fut directeur de l'Observatoire de Paris. Il écrivit une monumentale *Histoire de l'astronomie,* publiée de 1817 à 1827, qui demeure un ouvrage de référence.

Delaunay (Charles-Eugène), astronome français (Lusigny-sur-Barse, Aube, 1816 - Cherbourg 1872).
Sa vocation astronomique naquit à la lecture des œuvres de Laplace, qu'il reçut comme prix en tant que major de sortie de l'École polytechnique. De 1845 à sa mort, il se consacra à' l'étude du mouvement de la Lune ; il en élabora une théorie, dont de nombreux éléments sont encore utilisés aujourd'hui pour l'étude du mouvement des satellites artificiels. Il devint directeur de l'Observatoire de Paris en 1870, à la suite du renvoi de Le Verrier.

Delisle (Joseph Nicolas), astronome français (Paris 1688-1768).
Il passa plus de vingt ans en Russie, où il fonda l'observatoire de Saint-Pétersbourg. À

son retour en France, il fut nommé professeur au Collège de France et astronome de la Marine. Lalande* fut son élève. Il a été le premier à exposer une méthode correcte pour déterminer les coordonnées héliocentriques des taches solaires (1738).

Delphinus (-i). Nom latin de la constellation du Dauphin (abrév. *Del).*

Delta. Lanceurs spatiaux américains.
ENCYCL. Primitivement conçu à partir du missile balistique à moyenne portée Thor de l'US Air Force et des étages supérieurs de la fusée Vanguard, le lanceur Delta a été construit, de 1960 à 1982, en 34 versions différentes, grâce auxquelles sa capacité de lancement est passée de 45 kg à 1 312 kg. Cet accroissement spectaculaire de performance a été rendu possible en grande partie par une structure très évolutive qui a permis de remplacer successivement, à moindres frais, tous les éléments du lanceur par de nouveaux éléments déjà éprouvés sur d'autres véhicules spatiaux, automatiques ou pilotés. Le lanceur Delta a pu ainsi être adapté à la demande du marché des lancements spatiaux et à la croissance de la masse des charges utiles, ce qui lui a valu d'être le lanceur américain le plus utilisé des années 1960 et 1970. Il a été associé à quelques « premières », tels les lancements du premier satellite géostationnaire, Syncom 3, en 1964, du premier satellite Intelsat, Early Bird, en 1965, de plusieurs satellites de la série Explorer, des sondes interplanétaires Pioneer, etc. Il a aussi contribué au développement de l'Europe spatiale en permettant de lancer les satellites de l'ESRO et certains satellites de l'ESA, avant la mise en service du lanceur Ariane. Son taux de réussite a été exceptionnel, puisqu'on n'a enregistré que 11 échecs sur 177 tirs. Malgré l'évolution du lanceur, son architecture est restée quasi identique, avec un premier étage à ergols liquides (oxygène et kérosène), un deuxième étage à ergols liquides stockables surmonté par la case à équipements et, lorsque la mission l'exigeait, un troisième étage à poudre. Arrêtée à k suite de la décision de la NASA de privilégier l'utilisation de la navette spatiale, la production de lanceurs Delta a repris à la fin **des** années 80, avec la commercialisation depuis 1989 de deux nouveaux modèles, formant la gamme Delta 2 : la fusée Delta 6925 et la fusée Delta 7925, capables respectivement de lancer 1 450 kg et 1 820 kg en orbite de transfert géostationnaire ou 4 t et 4,5 t en orbite basse à 185 km d'altitude. La dernière née et la plus puissante fusée de la famille, Delta 3 - dotée d'un deuxième étage cryotechnique et capable de mettre jusqu'à 3,8 t en orbite de transfert géostationnaire - a explosé le 27 août 1998, lors de son premier vol commercial.

Delta Clipper Expérimental (DC-X). Lanceur expérimental américain, monoétage, réutilisable, à décollage et atterrissage verticaux, développé par la firme McDonnell Douglas.
ENCYCL. Le premier essai, réussi, d'un modèle réduit de ce lanceur révolutionnaire a eu lieu le 18 août 1993, dans le désert de White Sands, au Nouveau-Mexique (États-Unis). En moins d'une minute, l'engin, haut de 12,8 m, pesant 18,9 t et propulsé par quatre moteurs cryotechniques, s'est élevé à 45 m, puis déporté de 105 m et est revenu se poser au sol. D'autres essais ont suivi afin de tester l'aptitude de ce prototype à regagner sa plate-forme de lancement après une ascension et un déport latéral de plusieurs centaines de mètres. Lors de son 4e vol, le 20 juin 1994, le lanceur a atteint l'altitude de 450 m et a ensuite poursuivi son ascension jusqu'à 780 m, en effectuant un déplacement latéral de 315 m. Une semaine plus tard, lors de son 5e essai, la fusée a réussi à se poser après 78 s de vol, après que l'explosion d'une canalisation remplie d'hydrogène liquide eut endommagé sa cellule en fibres de carbone.

demi-grand axe. L'un des éléments d'une orbite elliptique, égal à la moitié du grand axe de l'ellipse.

démonstrateur n.m. Prototype de véhicule spatial destiné à en démontrer la faisabilité et à servir de moyen d'essai.

Deneb (de l'arabe *al-dhanab al-dajajah,* la queue de la poule, d'après une représentation ancienne de la constellation). Étoile a du Cygne. Magnitude apparente visuelle :

1,3. Type spectral : A2. Distance : env. 3 000 années de lumière. Rayon : 145 fois celui du Soleil.

Deneb Kaitos (d'une locution arabe signifiant la *queue de la baleine).* Étoile (3 de la Baleine. Magnitude apparente visuelle : 2,0. Type spectral : KO. Distance : 96 années de lumière. On l'appelle aussi *Diphda.*

Denebola (de l'arabe *al-dhanab alasad,* la queue du Lion, par allusion à sa position dans la constellation). Étoile p du Lion. Magnitude apparente visuelle : 2,1. Type spectral : A2. Distance : 36 années de lumière.

densité (théorie des ondes de) — ondes de densité

densité critique. En cosmologie, densité de matière minimale qui permet à la gravitation de stopper l'expansion de l'Univers. Sa valeur est comprise entre 10^{-29} et $2 \cdot 10^{-29}$ g-cm^{-3}, ce qui correspond à peu près à trois atomes d'hydrogène par mètre cube.

densité de flux. Quantité d'énergie d'un faisceau de rayonnement reçue sur une aire unité disposée perpendiculairement au faisceau pendant une unité de temps. En radioastronomie, la densité de flux, mesurée en janskys *(Jy),* est la quantité d'énergie reçue d'une radiosource par unité d'aire de détecteur et par unité de fréquence.

densité de matière. Expression utilisée en cosmologie pour désigner la masse volumique de l'Univers.

densité n.f. 1. Pour un gaz, rapport de la masse d'un volume de ce gaz à la masse d'air qui occupe le même volume à même température et à même pression. **2.** Pour un solide ou un liquide, rapport de la masse de corps à la masse d'eau occupant le même volume à la température de 4°C.

Dentelle (nébuleuse de la). Nébuleuse filamenteuse observable dans la constellation du Cygne. Elle forme une partie de la Boucle du Cygne*.

dépressurisation n.f. Dans un vaisseau spatial, perte de l'atmosphère artificielle qui est indispensable à la vie de l'équipage.
ENCYCL. Une dépressurisation soudaine peut avoir des conséquences mortelles comme ce fut le cas, en juin 1971, pour les trois cosmonautes de Soyouz 11, peu avant leur atterrissage. Depuis cette date, et pour se prémunir contre un tel risque, tous les occupants des capsules Soyouz revêtent systématiquement leur scaphandre pour le lancement et lors du retour sur Terre.

dérive n.f. Variation de la fréquence d'un signal radioélectrique observée lorsqu'un émetteur et un récepteur se rapprochent ou s'éloignent l'un de l'autre.
ENCYCL. L'effet Doppler permet de calculer la position du récepteur dès lors que la position et la fréquence de l'émetteur sont connues. Ce phénomène naturel est à la base des mesures réalisées par certains systèmes spatiaux de localisation (comme Argos et DORIS) ou de navigation (comme Transit).

désamarrage n.m. Séparation d'engins spatiaux dans l'espace.

Desdemona. Satellite d'Uranus (n° X), découvert en 1986 par la sonde américaine Voyager 2. Demi-grand axe de son orbite : 62 700 km. Période de révolution sidérale : 11 h 22 min. Diamètre : ~ 58 km.

Deslandres (Henri), astronome français (Paris 1853-1948).
Il fut appelé, en 1889, par l'amiral Mouchez, à l'Observatoire de Paris, pour introduire l'astrophysique dans cet établissement, voué jusque-là à la mécanique céleste et à l'astronomie de position. Responsable d'un service de spectroscopie astronomique créé pour lui, il s'y distingua rapidement, inventant, indépendamment de l'Américain G. Haie, le spectrohéliographe*, pour la photographie des spectres du Soleil. En 1877, il rejoignit l'observatoire de Meudon, fondé l'année précédente, pour y seconder le directeur, Janssen, auquel il succéda en 1907. Puis, après la réunion administrative des observatoires de Meudon et de Paris, il assura, de 1927 à 1929, la direction du nouvel établissement ainsi créé.

Outre le spectrohéliographe, il a inventé la table équatoriale, qui permet d'installer côte à côte plusieurs appareils astronomiques à monture équatoriale. Il est aussi le premier à avoir prévu, dès le début du siècle, l'existence du rayonnement radioélectrique du Soleil, qui n'a été détecté qu'en 1942.

Deslandres. Cirque lunaire, sur le bord méridional de la mer des Pluies.
ENCYCL. Coordonnées : 5° O., 32° S. Diamètre : 234 km. Plusieurs cratères (Regiomontanus, Lexell, etc.) chevauchent ses remparts. Il inclut le cratère Hell (33 km de diamètre).

désorbitation n.f. Manœuvre consistant à faire quitter à un engin spatial l'orbite qu'il décrit autour d'un astre en vue de le diriger vers un point donné de la surface de cet astre ou de provoquer sa chute. Le verbe correspondant est *désorbiter.*

Despina. Satellite de Neptune (n° V), découvert en 1989 par la sonde américaine Voyager 2. Demi-grand axe de son orbite : 52 500 km. Période de révolution sidérale : 8 h 10 min. Diamètre : 150 km.

desserte (d'une station orbitale) ni. Ensemble des services de transport (d'hommes ou de matériel) pouvant être assurés, de façon répétitive, entre la Terre et une station en orbite, dite *desservable.*

détecteur n.m. Dispositif destiné à déceler k présence d'un phénomène et éventuellement à mesurer celui-ci. L'Administration recommande de ne pas utiliser le terme *senstur* dans cette acception.

deutérium n.m. Isotope de l'hydrogène, de symbole D, dont le noyau atomique est famé d'un proton et d'un neutron, SYN : *hydrogène lourd.* C'est l'un des éléments chi•riques qui ont pu être fabriqués dans les premières minutes après le Big* Bang.

Deutsche Aerospace. Consortium industriel aérospatial allemand formé, en 1989, au sein àu groupe Daimler-Benz, par le rapprochement de quatre sociétés : Dorm̃eç Messerschmitt-Bôlkow-Blohm (MBB), Motoren und Turbinen Union (MTU) et Telefunken Systemtechnik.
ENCYCL. Il comprend quatre divisions : avions, systèmes spatiaux, systèmes de défense, systèmes de propulsion. Son siège est à Munich. Il emploie 75 000 personnes et son chiffre d'affaires annuel est d'environ 60 milliards de francs. Depuis 1995, il a pris le nom de Daimler Chrysler Aerospace.

DFS Kopernikus. Satellites allemands de télécommunications.
ENCYCL. D'une masse en orbite de 815 kg, DFS Kopernikus 1 et DFS Kopernikus 2 ont été lancés par des fusées Ariane 4, le premier en 1989, le second en 1990, et mis à poste sur l'orbite géostationnaire, respectivement par 23,5° E, et 28,5° E.

DFVLR. Sigle de *Deutsche Forschungs und Versuchsanstalt fur Luft und Raumfahrt,* Office allemand de recherches aéronautiques et spatiales. -* **DLR**

Diabolo (nébuleuse du). Nébuleuse planétaire M 27, dans la constellation du Petit Renard. Distance : 720 années de lumière.

Diadème. Nom donné à deux satellites français de géodésie mis sur orbite en 1967 par les lanceurs Diamant A.
Lancé le 8 février, Diadème 1 (ou D1C) a cessé de fonctionner le 2 janvier 1970. Lancé le 15 février, Diadème 2 (ou D1D) a cessé de fonctionner le 5 avril 1967. Ce sont les deux derniers satellites lancés de la base algérienne d'Hammaguir.

diagramme de Hertzsprung-Russell -» **Hertzsprung-Russell**

diagramme papillon **papillon**

Diamant. Programme français de lanceur spatial léger, le premier développé en Europe.
ENCYCL. Les douze exemplaires utilisés ont permis à la France, d'une part, de devenir, le 26 novembre 1965, la troisième puissance spatiale du monde, d'autre part, de placer sur orbite douze satellites en dix ans. Réalisés pour le CNES par la SEREB (Société pour

l'étude et la réalisation d'engins balistiques) à partir d'étages propulsifs mis au point pour le programme de vecteurs militaires dit « des pierres précieuses » (Topaze, Émeraude, Saphir, etc.), les lanceurs Diamant comprenaient un premier étage à ergols liquides (peroxyde d'azote et UDMH) surmonté de deux étages à poudre. Masse au décollage : de 20 à 25 t. Hauteur : environ 20 m. Trois versions, de capacité croissante, ont successivement été mises au point :

- Diamant A, avec un premier étage (Émeraude) de 12,61 d'ergols, un deuxième (Topaze) de 2,2 t de poudre et un troisième de 0,64 t de poudre. Quatre exemplaires ont été lancés d'Hammaguir avec succès de 1965 à 1967 pour les satellites Astérix, Diapason, Diadème 1 et 2 ;
- Diamant B, doté d'un premier étage plus volumineux (L-17 emportait 171 d'ergols) et d'un nouveau troisième étage avec 0,681 de poudre. Cinq exemplaires ont été lancés de Kourou (dont deux échecs) entre 1970 et 1973 pour les satellites Wika et Mika (Allemagne), Péole et Tournesol ;
- Diamant BP4, avec un deuxième étage plus puissant (P4, développé pour la force de dissuasion, contenait 4 t de poudre). Trois exemplaires ont été lancés de Kourou, avec succès, en 1975, pour les satellites Starlette, Castor, Pollux et Aura.

Capacité comparative des trois versions donnée pour une orbite circulaire équatoriale à 500 km d'altitude : 80 kg pour Diamant A, 120 kg pour Diamant B et 150 kg pour Diamant BP4.

Diapason (alias **DIA).** Troisième satellite français, placé en orbite le 17 février 1966, depuis Hammaguir (Algérie).
ENCYCL. Essentiellement conçu pour expérimenter le lanceur Diamant, Diapason avait plusieurs objectifs propres : technologique (étude du comportement global du satellite) et scientifique (localisation par photographie sur fond d'étoiles et par effet Doppler). Il a cessé de fonctionner le 23 janvier 1972.

dichotomie n.f. Aspect d'un astre du système solaire dont la surface éclairée visible occupe la moitié du disque.

diergol n.m. Propergol composé de deux ergols liquides stockés séparément, SYN : *biergol.*

différenciation n.f. Phénomène par lequel un astre de composition primitivement homogène se stratifié, sous l'effet de la gravité, en différentes couches dont la densité augmente avec la profondeur. Ce processus explique, en particulier, la structure des planètes du type de la Terre, formées d'un noyau, d'un manteau et d'une croûte.

différentiel, elle adj. Se dit d'une rotation qui, à la différence de celle d'un solide, ne s'effectue pas avec une vitesse angulaire identique en tout point de l'astre considéré.
ENCYCL. Dans le cas du Soleil et des grosses planètes à structure en partie gazeuse (Jupiter, Saturne, Uranus...), la rotation différentielle se manifeste par une décroissance de la vitesse angulaire de rotation de l'équateur vers les pôles. Dans le cas de la Galaxie, elle se traduit par une diminution de la vitesse angulaire de rotation des étoiles autour du centre galactique lorsqu'on s'écarte de ce centre.

diffraction n.f. Perturbation que subit la propagation des ondes (acoustiques, lumineuses, hertziennes...), lorsqu'elles rencontrent un obstacle ou une ouverture de dimensions du même ordre de grandeur que leur longueur d'onde.
ENCYCL. La diffraction limite les performances des meilleurs instruments d'optique : ainsi, l'image d'une source lumineuse ponctuelle fournie par une lunette astronomique ou un télescope n'est jamais un point, mais une petite tache, appelée *tache d'Airy*.*

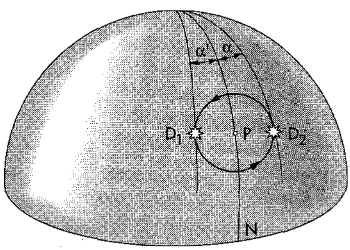
diffus, e adj. Se dit d'un astre, tel qu'une comète ou un nuage de matière interstellaire, qui présente un aspect flou, au contour mal défini. *Nébuleuse diffuse* **nébuleuse**

diffusion n.f. Répartition continue, dans de nombreuses directions d'un milieu de propagation, de l'énergie d'une onde électromagnétique (onde lumineuse, onde hertzienne) après sa rencontre avec de

nombreux obstacles, ou hétérogénéités, disposés au hasard.
ENCYCL. La diffusion de la lumière solaire par les molécules d'air de l'atmosphère terrestre est responsable de la couleur bleue du ciel et du virage vers le rouge de cette couleur lorsque le Soleil est proche de l'horizon.

digression n.f. Distance angulaire d'un astre (étoile ou planète) à un autre ou à un plan de référence.
ENCYCL. Le terme s'emploie surtout dans le cas des étoiles circumpolaires*. Une telle étoile est dite *à sa digression maximale* lorsque le plan vertical passant par l'étoile est tangent à la trajectoire de celle-ci sur la sphère céleste et est perpendiculaire à son cercle horaire. L'azimut de l'étoile atteint alors une valeur maximale (, par rapport à laquelle elle varie très peu pendant un intervalle de temps appréciable.
Pour l'étoile polaire observée sous la latitude de Paris, l'angle (vaut environ 1° 27'. Cet angle ne varie que de 1 minute d'arc en 30 minutes de temps. Cette propriété fournit l'une des méthodes les plus simples pour obtenir un orientement déjà précis, en utilisant des visées sur la Polaire.
On emploie quelquefois aussi l'expression de *digression maximale* comme synonyme de *plus grande élongation,* pour caractériser la position d'une planète inférieure lorsque sa distance angulaire au Soleil, vue de la terre, atteint sa valeur maximale (*voir* schéma).

Digression



DIODE (sigle de Détermination Immédiate d'Orbite par Doris Embarqué). Instrument français conçu pour être installé à bord d'un satellite afin de calculer automatiquement et instantanément sa trajectoire. Utilisé pour la première fois sur SPOT 4, en 1998, le navigateur DIODE a montré qu'il pouvait fournir, toutes les dix secondes, la position du satellite à quelques mètres près.

Dioné B. Nom parfois donné au satellite de Saturne n° XII, découvert en 1980, officiellement dénommé *Hélène** en 1985.

Dioné. Satellite de Saturne (n° IV), découvert par J.D. Cassini en 1684.
ENCYCL. Demi-grand axe de son orbite : 377 420 km. Période de révolution sidérale : 2,736 9 j. Diamètre : 1 120 km. Densité moyenne : 1,4.
ENCYCL. On le présume constitué en majeure partie de glace, avec une certaine quantité de matériau rocheux qui pourrait être une source de chaleur interne. Sa surface, révélée en 1980 par la sonde Voyager 1, présente une certaine variété de teintes sombres et claires. *On* y distingue de grandes traînées brillantes qui pourraient correspondre à de longues fractures remplies de glace jeune. Les régions plus sombres possèdent de nombreux cratères (atteignant jusqu'à 100 km de diamètre) et paraissent plus anciennes.

Diphda. Autre nom de l'étoile *Deneb* Kaitos.*

direct, e adj. Se dit d'un mouvement qui s'effectue dans le sens N.-O.-S.-E. (sens inverse du mouvement des aiguilles d'une montre) autour de la direction du pôle Nord du système considéré. Le mouvement des planètes autour du Soleil est direct ; on dit aussi qu'il s'effectue *dans le sens direct.*

Discoverer. Satellites américains lancés entre 1958 et 1962 pour mettre au point la technique de la récupération d'une capsule spatiale.
ENCYCL. Le premier succès du programme, qui était aussi la première récupération réussie de l'histoire de l'astronautique, fut obtenu le 11 août 1960 avec Discoverer 13. Par la suite, les Discoverer furent progressivement transformés en satellites de reconnaissance photographique, à mesure que la technique de la récupération de la capsule était

de mieux en mieux maîtrisée. Le programme Discoverer s'arrêta officiellement au printemps 1962 après 38 lancements, mais il se poursuivit en fait d'une manière secrète pendant quelques années. Les satellites de reconnaissance Big* Bird utilisés pendant les années 70 sont les descendants directs des Discoverer.

Discovery (mot anglais signifiant *découverte).* Programme américain de sondes automatiques engagé au milieu des années 1990 pour la poursuite de l'exploration du système solaire.
ENCYCL. Ce programme de la NASA est constitué de missions scientifiques pouvant être réalisées rapidement et au moindre coût. Il comprend notamment une sonde destinée à explorer des astéroïdes (NEAR*), une sonde d'exploration de la Lune (Lunar Prospecter*), un essaim de minisondes pour l'étude de Vénus (Venus Multiprobe), une sonde chargée de collecter des poussières cométaires (Stardust*) et une sonde placée en l'un des points de Lagrange* du système Terre-Lune pour l'étude du vent solaire.

Discovery. Nom *donné à l'un* des orbiteurs de la navette spatiale américaine, dont le premier lancement a eu lieu le 30 août 1984.

discret, ète adj. Se dit d'une source de rayonnement isolée dans le ciel, aux limites bien définies.

dispersif, ive adj. Se dit d'un milieu, d'une substance qui disperse la lumière. *Pouvoir dispersif:* rapport An/n-1, où An représente la variation de l'indice de réfraction de la substance considérée d'une extrémité à l'autre du spectre visible, et *n* cet indice pour les rayons moyens.

dispersion n.f. Séparation des composantes spectrales d'un rayonnement électromagnétique (lumière visible, en particulier) au moyen d'un appareil (prisme, réseau) ou sous l'effet de phénomènes naturels. Le phénomène est lié à la variation, en fonction de la fréquence, de la vitesse de propagation du rayonnement.

disque d'accrétion **accrétion**

disque n.m. 1. Surface visible d'un astre, lorsqu'elle apparaît plus ou moins circulaire. **2.** Composante aplatie d'une galaxie spirale, comprenant de la matière interstellaire et des étoiles dites « de population* I ».

disque protoplanétaire -> protoplanétaire

distance n.f. Intervalle qui sépare deux points dans l'espace.
ENCYCL. Les distances astronomiques s'expriment, selon le cas, en unités* astronomiques (ua), en années* de lumière (al), ou en parsecs* (pc), avec leurs multiples, le kiloparsec (kpc) et le mégaparsec (Mpc). Le Soleil est situé à 8 minutes de lumière, l'étoile la plus proche du système solaire, *Proxima* Centauri,* à 4,25 *années de* lumière, et le plus lointain objet observé au début de 1985, le quasar*, dans la constellation du Sculpteur, à une distance comprise entre 12 et 16 milliards d'années de lumière.
À l'intérieur du système solaire, on procède soit par triangulation (-* **parallaxe)** ; soit, pour les planètes voisines, par méthode radar (-• **radarastronomie)** ; soit, pour la Lune, par télémétrie laser.
Le procédé fondamental de mesure des distances stellaires est une méthode géométrique, dite « de la parallaxe* ». Elle n'est applicable qu'aux étoiles les plus proches (moins de 300 années de lumière), mais c'est la méthode de base qui permet de calibrer toutes les autres méthodes autorisant une pénétration beaucoup plus profonde dans l'espace.

DISTANCES EXTRAGALACTIQUES. Toutes les méthodes utilisées pour déterminer les distances d'objets extérieurs de notre Galaxie sont des méthodes indirectes. Comme pour les étoiles les plus lointaines de notre Galaxie, elles se fondent sur des relations fondamentales, ou critères de distance, établies et calibrées avec des astres de distance connue. Ces critères sont essentiellement de deux types : ils relient soit la luminosité, soit la dimension géométrique d'un astre donné à un paramètre qui peut être déterminé par l'observation sans qu'il soit besoin de connaître la distance. Une fois ce paramètre connu, la dis-

tance de l'objet étudié se déduit de la mesure de son éclat apparent ou de son diamètre apparent.
Les indicateurs de distances extragalactiques les plus précis sont ceux qui peuvent être étalonnés à partir d'observations effectuées dans notre Galaxie. On les appelle « indicateurs primaires ». Ce sont principalement les céphéides*, les variables du type RR Lyrae* et les novae*.
La portée des indicateurs primaires reste malheureusement limitée aux galaxies les plus proches, celles du Groupe local : les céphéides ne sont observables que jusqu'à 4 mégaparsecs, et les novae que jusqu'à 10 mégaparsecs. Au-delà, on doit faire appel à des indicateurs secondaires, puis tertiaires, étalonnés par les galaxies du Groupe local, puis des groupes voisins, mais dont la plus grande portée se paie par une précision moindre. Le recours au plus grand nombre possible d'indicateurs permet d'améliorer la précision et de réduire les risques d'erreurs systématiques.
Parmi les indicateurs secondaires, figurent notamment des amas globulaires, des étoiles supergéantes et de vastes nébuleuses d'hydrogène ionisé (régions H II), intrinsèquement très brillantes.

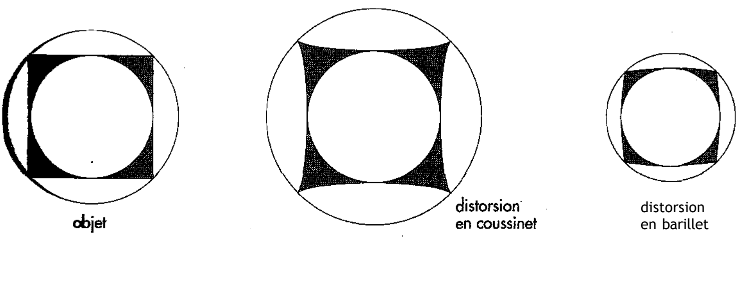
CORRESPONDANCE ENTRE LES DIVERSES UNITÉS DE DISTANCE UTTLISÉES EN ASTRONOMIE

unité	kilomètre	unité astronomique	année de lumière	parsec
abréviation	km	ua	al	pc
kilomètre (km)	1	6,684 587 MO"9	1,057-10~13	3,240 78-10"14
unité astronomique (ua)	149 597 870	1	1,581 3-10"5	4,848 14-10"6
année de lumière (al)	9,460 7-10¹²	63 241	1	0,306595
parsec (pc)	3,085 68-10¹³	206 265	3,261 633	1

Quant aux indicateurs tertiaires, ils se fondent **non** plus sur l'observation d'étoiles ou **de structures** individuelles au sein des galaxies, mais sur certaines propriétés globales **ou de** structure à grande échelle, telles que le **diamètre** ou la luminosité des galaxies. Pour **les amas** de galaxies lointains, on considère, **par** exemple, que la magnitude absolue **moyenne** des galaxies les plus brillantes est **h même** dans tous les amas.
Iburles astres les plus lointains (quasars* en **particulier),** au-delà de 500 millions d'années de lumière environ, on ne dispose plus de critère de distance fiable et l'on doit se contenter d'extrapoler la loi de Hubble*, d'où l'importance attachée à la détermination de la constante de Hubble, qui fixe la vitesse d'expansion de l'Univers.

distorsion n.f. Aberration géométrique qui se manifeste par une déformation de l'image d'un quadrillage.
ENCYCL. Dans la *distorsion en barillet (voir* schéma), les lignes droites ne passant pas

Distorsion



par l'axe optique ou le centre de l'image sont reproduites avec une concavité dirigée vers ce centre et qui croît avec la distance à celui-ci ; dans la *distorsion en croissant,* ou *en coussinet, les* lignes droites ne passant pas par l'axe optique ou le centre de l'image sont reproduites avec une convexité dirigée vers ce centre et qui croît avec la distance à celui-ci.

diurne adj. Quotidien. *Mouvement diurne :* mouvement apparent de rotation de l'ensemble du ciel en un jour* sidéral, dû à la rotation de la Terre autour de son axe. *Parallaxe diurne* -* **parallaxe**

divergent n.m. Dans un moteur-fusée, partie aval de la tuyère (en forme de coquetier) dans laquelle les gaz poursuivent la détente amorcée dans le convergent, ce qui accroît leur vitesse d'éjection, donc la poussée du moteur.

DMSP (sigle de *Defense Meteorological Satellites Program,* programme de satellites météorologiques de défense). Famille de satellites météorologiques militaires de l'US Air Force.
ENCYCL. Des satellites DMSP ont joué un rôle important lors de la guerre du Golfe, en 1991. Ils ont aidé à la planification des opérations militaires, permis d'évaluer certains risques particuliers tels que les tempêtes de sable et permis de détecter et de suivre les fumées des puits de pétrole incendiés.

dobson n.m. Télescope de type Newton doté d'une monture altazimutale particulière inventée vers 1980 par l'Américain John Dobson.
ENCYCL. Monté sur une simple plate-forme tournante, robuste, qui assure sa mobilité en azimut, ce télescope peut osciller dans le plan vertical entre deux tourillons. La monture, qui peut être réalisée en contreplaqué, est bon marché et facile à construire. Elle est capable de supporter un instrument de gros diamètre, qui devient ainsi aisément transportable et peut être utilisé instantanément sans mise en station préalable. Ces divers avantages expliquent la faveur croissante du dobson auprès des astronomes amateurs. Néanmoins, cet instrument n'est pas conçu pour l'astrophotographie.

DOD (sigle de *Department Of Defense).* Abréviation désignant le ministère de la Défense des États-Unis.

Dollfus (Audouin), astronome et aéronaute français (Paris 1924).
Disciple de B. Lyot* et continuateur de son œuvre, il est l'auteur de nombreuses découvertes concernant la Lune et les planètes.

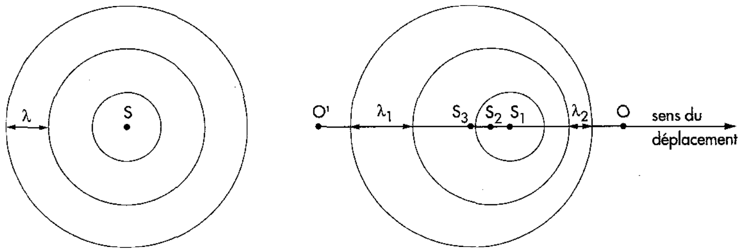
Dollond (John), opticien anglais (Spitalfields, Londres, 1706-1761), d'origine française.
Après être parvenu, en 1758, à réaliser un doublet achromatique, il en popularisa l'emploi comme objectif pour les lunettes astronomiques.

Dominion (observatoire astrophysique). Observatoire d'astronomie optique du Canada, situé près de Victoria, en Colombie-Britannique.
ENCYCL. Fondé par J.S. Plaskett*, il comprend notamment un télescope de 1,83 m d'ouverture, mis en service en 1918, et un télescope de 1,22 m, inauguré en 1962. Il est le siège du Centre canadien de données astronomiques.
Il a fourni des contributions importantes à l'astronomie stellaire, en particulier dans le domaine des étoiles doubles ou multiples.

Dominion (observatoire radioastrophysique). Observatoire de radioastronomie du Canada, situé à 20 km au S.-O. de Penticton, en Colombie-Britannique.
ENCYCL. Fondé en 1959, il comprend principalement un radio-interféromètre* à synthèse d'ouverture, formé de sept antennes paraboliques de 9 m de diamètre, réparties sur une base est-ouest de 600 m de long; un radiotélescope parabolique de 26 m de diamètre ; et un petit radiotélescope solaire.

Donati (Giovanni Battista), astronome italien (Pise 1826 - Florence 1873).
Il fut un pionnier de la spectroscopie astronomique et s'illustra par ses travaux sur les comètes. En 1858, il découvrit une comète qui devint très brillante et spectaculaire. En

Effet **Doppler-Fizeau**



1864, il obtint le premier spectre d'une comète. Directeur de l'observatoire de Florence de 1859 à sa mort, il fut à l'origine de son transfert à Arcetri (1872).

Doppler ou **Doppler-Fizeau (effet).** Phénomène qui se produit lorsqu'une source de vibrations (sons, ultrasons) ou de rayonnements électromagnétiques (lumière, ondes radio, etc.) de fréquence donnée est en mouvement par rapport à un observateur et qui se traduit pour celui-ci par une modification de la fréquence perçue.
ENCYCL. C'est ainsi que le son de l'avertisseur d'une locomotive ou d'une automobile paraît plus aigu quand celle-ci s'approche, plus grave quand elle s'éloigne ou encore que la lumière reçue d'une source qui s'éloigne est décalée vers le rouge. En physique non relativiste (cas du son et, pour les faibles vitesses V_0 de l'observateur O et de V_s de la source S par rapport à la vitesse de la lumière, des ondes électromagnétiques), la fréquence perçue v' est donnée par : v' = v x c + V_D cos ct_0/c + V_s cos a_s
où *c* est la vitesse de propagation de l'onde et a_D et a_s les angles que font V_c et V_s avec la droite orientée OS. En physique relativiste, l'effet Doppler-Fizeau pour les ondes électromagnétiques (c est alors la vitesse de la lumière) est donné par :
v' = v x c^2 - V_r2/c + V_r cos a_r
où V_r = V_s - V_Q est la vitesse relative et V_r l'angle que fait V_r avec OS.
L'effet Doppler-Fizeau revêt une importance fondamentale en astrophysique. La mesure du décalage des raies spectrales d'un astre par rapport à un spectre de référence obtenu sur la Terre permet, par application de la relation précédente, de déterminer la vitesse radiale d'ensemble de l'astre et d'étudier ses mouvements internes. En particulier, la mesure des vitesses radiales et des étoiles proches, combinée avec les mesures de distance et de mouvement propre, révèle la dynamique des étoiles de notre Galaxie, tandis que l'interprétation par un effet Doppler-Fizeau du décalage systématique vers le rouge des raies du spectre des galaxies lointaines est à la base des considérations relatives à l'expansion de l'Univers.
L'effet Doppler permet de calculer la position du récepteur dès lors que la position et la fréquence de l'émetteur sont connues. Ce phénomène naturel est à la base des mesures réalisées par certains systèmes spatiaux de localisation (comme Argos et DORIS) ou de navigation (comme Transit).

Dor. Abréviation de *Dorado,* désignant la constellation de la Dorade.

Dorade (en latin *Dorado, -us).* Constellation australe.
ENCYCL. Elle a été introduite par J. Bayer dans son *Uranometria,* en 1603. Son étoile principale, *(Dor,* est de magnitude 3,5. Sa partie méridionale est occupée parle Grand Nuage de Magellan*, qui renferme notamment la plus grande nébuleuse diffuse connue, la nébuleuse de la Tarentule*, et l'étoile supergéante *S Dor.*

Dorado (-us). Nom latin de la constellation de la Dorade (abrév *Dor).*

Dôrffel (Georg Samuel), astronome allemand (Plauen, Saxe, 1643 - Weida 1688).
Il s'est particulièrement intéressé aux comètes et a fait progresser l'étude de leur mouvement en considérant le premier, en 1681, qu'elles décrivent des paraboles ayant le centre du Soleil pour foyer.

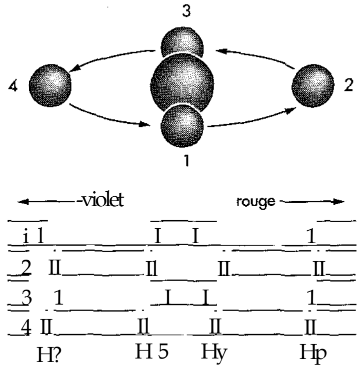
DORIS (sigle *de Détermination d'Orbite* et Radiopositionnement Intégrés par Satellite). Système spatial français de positionnement très précis.
ENCYCL. Composé principalement d'un récepteur radio et d'un oscillateur à quartz en place dans un satellite ainsi que d'une cinquantaine de balises émettrices (dites d'orbitographie), au sol, de position connue, ce système permet :
- de connaître, avec une précision de quelques centimètres, l'altitude du satellite (et de restituer son orbite) par mesure du décalage Doppler,
- ensuite de localiser toute balise (dite de terrain) dont la position est inconnue (si elle est fixe, la précision peut atteindre 2 cm).
Il trouve des applications en orbitographie, en géodésie, pour la surveillance de phénomènes naturels (déformation des sols en zones sismiques, volcaniques ou d'activité tectonique intense, mouvement des glaciers,...) ou de sites lors de travaux de génie civil (les barrages ou les tunnels par exemple). Les premiers récepteurs DORIS ont été installés sur le satellite SPOT* 2 (1990), sur Topex*-Poséidon (1992), sur SPOT 3 (1993) et sur SPOT 4 (1998). - **DIODE**

Dornberger (Walter Robert), officier allemand (1895-1980).
Directeur du centre d'essais et de fabrication d'engins balistiques de la Wehrmacht à Kummersdorf, près de Berlin, puis à Peenemiinde, à l'embouchure de l'Oder, il dirigea (avec l'aide de Wernher von Braun, qu'il engagea en 1932) l'équipe de savants et d'ingénieurs qui mit au point les V-2. En 1945, il se rendit aux Américains et, après deux années dans un camp de prisonniers, il fut transféré aux États-Unis.

Dornier. Société allemande de constructions aéronautiques et spatiales issue de l'entreprise fondée en 1922 par l'ingénieur Claudius Dornier (1884-1969) et qui constitue aujourd'hui l'une des sociétés au consortium Daimler-Benz Aerospace. Son siège est à Friedrichshafen.

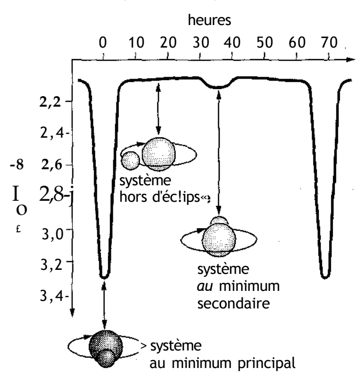
dorsum n.f. (mot latin, pl. *dorsd)* Crête, dans la nomenclature internationale du relief des surfaces planétaires.

Étoile **double** *spectroscopique*



double (étoile). Ensemble de deux étoiles apparaissant extrêmement rapprochées dans le ciel.
ENCYCL. Parfois, le rapprochement résulte d'un simple effet de perspective, les composantes se trouvant, en fait, à des distances de la Terre très différentes : on parle alors de couples optiques. Mais, le plus souvent, surtout lorsque le dédoublement se révèle difficile, les composantes sont liées par leur attraction mutuelle et tournent chacune autour du centre de gravité du système, constituant ce qu'on appelle une *étoile double physique* (ou *binaire).* Lorsque les composantes sont séparables par des observations visuelles, à la lunette ou au télescope, on parle d'étoiles doubles *visuelles.* On range également dans cette catégorie les binaires séparables à l'interféromètre. D'autres binaires,

Écoile **double** photométrique



dites *spectroscopiques,* se révèlent par un dédoublement périodique des raies de leur spectre *(voir* schéma), dû à l'effet Doppler-Fizeau. Leurs composantes sont beaucoup plus serrées que celles des binaires visuelles, et sous l'effet de leur attraction réciproque elles peuvent échanger de la matière (dans le cas où elles ont une masse différente, il y a transfert de matière de l'étoile la moins massive vers l'étoile la plus massive).

Une troisième catégorie d'étoiles doubles, dites *photométriques* ou *à éclipses,* se signale par une variation périodique d'éclat *(voir* schéma) due aux occultations réciproques des deux composantes passant alternativement l'une derrière l'autre, chacune se trouvant alors plus ou moins complètement cachée selon l'inclinaison de l'orbite et le diamètre des deux étoiles. Enfin, certaines étoiles ont un compagnon invisible, trop peu brillant pour être observé. Chacune des composantes décrit alors une orbite képlérienne autour du centre de masse du système et le mouvement perturbé de l'étoile principale peut révéler la présence du compagnon obscur. De tels couples sont dits *astrométriques.*

UNE ORIGINE MYSTÉRIEUSE. L'origine des étoiles doubles reste mystérieuse, car on n'a jamais vu se former de couple, et la variété de leurs aspects ne peut pas, comme dans le cas des étoiles simples, traduire leur évolution. On a émis sur ce point quatre hypothèses essentielles.

La première est celle de la capture. Toutefois, une étoile passant près d'une autre ne peut être retenue que si elle subit un certain ralentissement par le milieu ; sinon, le résultat est une orbite hyperbolique et non fermée. En tout état de cause, on explique difficilement par cette hypothèse les couples serrés et les orbites peu excentriques, qui ne sont nullement en minorité dans les couples connus.

La seconde hypothèse est celle de la scission d'une étoile en rotation rapide. Elle se heurte à des objections mécaniques et ne saurait engendrer de couples très séparés ni de systèmes multiples. Cependant, une catégorie de binaires, celle du type W *U Ma,* pourrait justifier cette hypothèse, et différents travaux (depuis 1960) ont étudié cette question. Là encore, la scission ne saurait être une origine générale des étoiles doubles.

La troisième hypothèse considère un nuage interstellaire dans son état initial où deux noyaux voisins pourraient se condenser séparément. C'est la seule qui pourrait rendre compte de la formation de systèmes multiples, et la théorie ne lui oppose pas d'objections fondamentales. En revanche, elle explique mal les couples les plus serrés, car on n'imagine pas deux noyaux capables de se former en étoiles s'ils sont très proches au départ. Il faudrait, pour cela, concevoir un mécanisme qui permettrait aux deux étoiles de se rapprocher une fois formées, et on n'en a pas trouvé.

Une quatrième théorie, plus récente, est une sorte d'extension de la précédente : des étoiles pourraient, dans un amas, se grouper en systèmes de quelques dizaines d'objets, dont chacun serait instable et finirait par former une étoile multiple centrée sur une binaire serrée ; certaines composantes pourraient, par la suite, échapper au système.

doublet n.m. Ensemble de deux lentilles accolées formant un système achromatique*.

doucissage n.m. Phase de la taille d'un miroir de télescope qui succède à l'ébauchage*.

ENCYCL. Le doucissage a pour objet d'éliminer les rayures provoquées par l'ébauchage à la surface du miroir et de parfaire la mise en forme de cette surface. Il consiste à user la surface optique par frottement contre celle d'un autre disque en verre de forme appropriée, appelé outil, avec interposition d'abrasifs de plus en plus fins (poudres d'émeri en suspension dans l'eau). A la fin de l'opération, la surface réalisée est finement dépolie, et sa forme est très proche de celle de la surface définitive.

DQ. Abréviation de dernier quartier.

Dra. Abréviation de *Draco,* désignant la constellation du Dragon.

Draco (-nis). Nom latin de la constellation du Dragon (abrév. *Dra).*

Draconides. Autre nom des *Giacobinides.*

draconitique adj. (du grec *drakôn, -ontos,* dragon). Se dit de la périodicité d'un mouvement dans un repère mobile dont le plan fondamental est l'écliptique et l'origine, le nœud ascendant de l'orbite lunaire. *Révolution draconitique :* valeur moyenne de l'intervalle de temps qui sépare deux passages consécutifs de la Lune à son nœud ascendant.

ENCYCL. Les éclipses de Lune et de Soleil ne peuvent se produire que lorsque la Lune passe par la ligne des nœuds de son orbite, alors que le Soleil (qui parcourt l'écliptique) est lui-même dans le voisinage immédiat de cette direction. Les Anciens disaient de façon imagée que, au moment d'une éclipse, la Lune est avalée par un « dragon » qui se trouve embusqué au voisinage des nœuds de l'orbite lunaire, d'où l'origine du terme « draconitique ». Du fait de la rotation de la ligne des nœuds de l'orbite lunaire (mouvement rétrograde de période 18,6 ans environ), la révolution draconitique de la Lune est un peu plus courte que sa révolution sidérale (27 j 5 h 5 min 35,6 s au lieu de 27 j 7 h 43 min 11,5 s). La révolution synodique, ou lunaison, comptée par rapport à la position apparente du Soleil, vaut 29 j 12 h 44 min 2,8 s.

Dragon (en latin *Drago, -onis).* Constellation boréale.

ENCYCL. La tête du dragon est figurée par quatre étoiles, P, *y (Etamin*),* Ç et v, disposées en quadrilatère. Son corps serpente entre la Grande Ourse et la Petite Ourse en se repliant vers l'étoile Polaire. L'étoile a *Dm,* visible à mi-distance entre *y* de la Petite Ourse et le couple Mizar-Alcor de la Grande Ourse, est aujourd'hui de magnitude apparente 3,6. Mais il semble qu'elle ait été plus brillante dans le passé, car J. Bayer la vit de deuxième grandeur, comme l'étoile la plus lumineuse de la constellation. Il y a 4 800 ans, elle brillait à 10' seulement du pôle céleste nord et constituait l'étoile Polaire. L'un des passages existant dans la grande pyramide de Khéops, à Gizeh, a été conçu de manière à constituer un puits oblique par lequel pouvait pénétrer la lumière de cette étoile. Parmi les curiosités offertes par la constellation figure la nébuleuse planétaire NGC 6543, la première nébuleuse dont on soit parvenu à observer le spectre (W. Huggins, 29 août 1864) et dont le centre se trouve situé exactement dans la direction du pôle nord de l'écliptique.

Drake (formule de). Formule proposée en 1965 par le radioastronome américain Frank Drake pour tenter d'évaluer le nombre de civilisations technologiquement avancées existant dans la Galaxie.

ENCYCL. Elle s'exprime par la relation : N = R-fp-ne-f^fj-f^L, dans laquelle N représente le nombre cherché, R le nombre d'étoiles favorables à *l'émergence de* la vie qui se forment chaque année dans la Galaxie, f_p le pourcentage d'étoiles dotées d'un système planétaire, n_e le nombre de planètes d'un système donné sur lesquelles les conditions sont favorables à l'apparition de la vie, fj la fraction de ces planètes qui a vu naître effectivement la vie, f_v la fraction de planètes précédentes sur lesquelles se sont développées une espèce intelligente et une civilisation, f_c la fraction des civilisations qui cherchent à communiquer avec d'autres, et L la durée moyenne pendant laquelle une civilisation communique.

Du fait de la grande incertitude régnant sur les valeurs des différents paramètres, les estimations varient, selon les auteurs, de I civilisation (la nôtre) à 1 milliard.

Draper (Henry), astronome américain (Prince Edward County, Virginie, 1837 - New York 1882).

II a contribué à développer l'application de la photographie à l'astronomie* (lre photographie du spectre d'une étoile, Véga, en 1872 ; *Ve* photographie d'une nébuleuse, celle d'Orion, en 1880) et fut pionnier de la spectrographie stellaire. Son père, le physicien américain John William Draper, obtint la première photographie de la Lune, en 1840. Son nom a été donné au catalogue de 225 000 spectres stellaires réalisé à l'observatoire Harvard sous la direction de Pickering* et Cannon* grâce à une fondation créée, après sa mort, par sa veuve, et publié de 1918 à 1924.

Dreyer 0ohan Ludvig Emil), astronome *danois (Copenhague* 1852 - Oxford 1926).

Il révisa et compléta le catalogue de nébulo-

sités célestes de John Herschel : en 1888, il publia le *New General Catalogue of Nebulae and Clusters of Stars* (couramment désigné sous les initiales NGC), qui donne les positions de 7 840 nébuleuses, amas stellaires et galaxies. En 1895 et 1908, il ajouta deux suppléments à ce catalogue, recensant 15 000 objets.

droit de l'espace. Branche du droit international qui concerne l'espace.

ENCYCL. Jusqu'en 1957, date de lancement du premier satellite artificiel soviétique, le droit ne considérait que l'espace aérien, soumis au même régime que l'espace sous-jacent (souveraineté territoriale, ou liberté au-dessous de la haute mer).

Plusieurs traités ont posé les règles générales concernant l'espace extra-atmosphérique, après que l'Assemblée générale de l'ONU eut voté plusieurs résolutions en ce sens (en 1958,1961 et surtout la résolution du 13 décembre 1963 déclarant « les principes juridiques régissant les activités des États » dans l'espace extra-atmosphérique).

CONTENU DES TRAITÉS. Le traité fondateur, ouvert à la signature le 27 janvier 1967 et entré en vigueur le 10 octobre 1967, est intitulé « Traité sur les principes régissant les activités des États en matière d'exploration et d'utilisation de l'espace extra-atmosphérique, y compris la Lune et les autres corps célestes ». Signé par plus d'une centaine d'États, il interdit l'aménagement de bases ou d'installations militaires sur les corps célestes et la mise en orbite autour de la Terre d'armes de destruction massive (dont les armes nucléaires). Il laisse toutefois la possibilité du transit des armes à travers l'espace et des reconnaissances par satellites artificiels.

Il a été suivi par quatre autres traités :

- l'Accord sur le sauvetage des astronautes, le retour des astronautes et la restitution des objets lancés dans l'espace extra-atmosphérique, entré en vigueur le 3 décembre 1968, prévoit, en cas de nécessité, la coopération internationale pour le sauvetage et le rapatriement d'astronautes en détresse ;
- la Convention sur la responsabilité internationale pour les dommages causés par les objets spatiaux, entrée en vigueur le 1er septembre 1972, établit un régime de responsabilité pour risque en cas de dommages causés à un aéronef en vol ou à tout bien situé à la surface de la Terre ;
- la Convention sur l'immatriculation des objets lancés dans l'espace extra-atmosphérique, entrée en vigueur le 15 septembre 1976;
- l'Accord régissant les activités des États sur la Lune et les autres corps célestes, entré en vigueur le 11 juillet 1984.

Dans les années 80, sur des sujets particuliers, les Nations unies sont intervenues en adoptant des principes annexés à une résolution de l'Assemblée générale. Cette formule de substitution a notamment été utilisée lorsque les antagonismes entre les partisans de thèses différentes empêchaient d'adopter un traité, par exemple sur la question de la télévision directe, en 1984, ou bien parce qu'il était plus simple d'adopter un texte n'ayant pas valeur de traité, par exemple en matière de télédétection, en 1986. Les principes adoptés n'ont aucune valeur coercitive. Ils ne représentent qu'une incitation pour les États à les appliquer volontairement. En dehors des traités de portée universelle, beaucoup d'autres accords ont vu le jour, soit pour instaurer une coopération bilatérale, soit pour mettre en place des organisations spécialisées (Agence spatiale européenne, Intelsat, etc.). Ces traités peuvent revêtir une grande diversité de formes, mais ils doivent être en conformité avec les dispositions du traité fondamental de 1967. D'une façon générale, le droit de l'espace se conforme au droit international, y compris à la Charte des Nations unies. C'est avant tout un droit de liberté, mais c'est aussi un droit fondé sur la coopération.

RÉGLEMENTATION. Le droit de l'espace n'a pas posé de limite entre l'espace aérien et l'espace extra-atmosphérique ; en revanche, il a fixé le principe, repris par les États-Unis et l'Union soviétique, de la non-appropriation de l'espace et des corps célestes.

Après la chute en territoire canadien, en janvier 1978, de débris radioactifs provenant de Cosmos 954, porteur d'un générateur nucléaire, le Comité de l'espace de l'ONU a été saisi de cette question en 1979 afin d'examiner la possibilité de réglementer l'utilisation des sources d'énergie nucléaire dans l'espace. A la suite d'un nouvel incident, la

chute non contrôlée de Cosmos 1402, en 1983, le besoin de mettre en place une procédure de notification internationale a été reconnu et un modèle de notification a été recommandé par les Nations unies. En 1986, des améliorations ont été apportées à ce modèle, prévoyant notamment l'actualisation des informations transmises avec une fréquence accrue, à mesure de l'approche du moment prévu pour la rentrée dans l'atmosphère de l'objet spatial en péril. En 1988, également, un accord a été obtenu sur le principe d'une assistance mutuelle en cas de retombée accidentelle d'un objet spatial porteur de sources d'énergie nucléaire.

DRS (sigle de *Data Relay System,* système de relais de données). Programme européen de transmission de données, quasi permanente et à haut débit, entre les véhicules spatiaux de l'Agence spatiale européenne en orbite basse et le sol, via des satellites géostationnaires. Deux satellites sont prévus, dont le premier pourrait être lancé après 2000.

Dschubba. Étoile δ du Scorpion. Magnitude apparente visuelle : 2,3. Type spectral : B0. Distance : 400 années de lumière.

DSCS (sigle de *Defense Satellite Communications System,* système de communications par satellite pour la défense). Satellites militaires de télécommunications de l'US Air Force.

ENCYCL. Trois générations se sont succédé depuis 1967 : DSCS 1, DSCS 2 et DSCS 3. Les satellites DSCS 3, dont le premier a été lancé le 31 octobre 1985 par la navette spatiale (orbiteur Atlantis), sont des engins de 800 kg à 1,2 t environ (contre 450 kg pour les DSCS 2), émettant sur les fréquences 7,25-7,75 GHz et recevant sur 7,9-8,4 GHz. Ils possèdent six canaux. Leur durée de vie est de 10 ans. Ils sont durcis contre une attaque nucléaire. Ce sont eux qui ont assuré l'essentiel des communications militaires américaines lors de la guerre du Golfe.

DSN (sigle de *Deep Space Network).* Réseau de poursuite que la NASA utilise depuis 1961 pour maintenir un contact radio permanent avec ses sondes spatiales automatiques évoluant dans l'espace lointain.

ENCYCL. Le Jet Propulsion Laboratory, qui se trouve à Pasadena (Californie), gère ce réseau qui comprend entre autres les trois antennes géantes, d'un diamètre de 64 m, de Goldstone (Californie), de Canberra (Australie) et de la région de Madrid (Espagne).

DSP (sigle de *Defense Support Program,* programme de soutien de défense). Programme de satellites d'alerte avancée des Etats-Unis.

ENCYCL. Le programme DSP a débuté en novembre 1970. Le 14 juin 1989 a été lancé le premier exemplaire d'une version améliorée (DSP-Block 14) qui emporte plus de propergol et est donc plus manoeuvrable. Géostationnaires, les satellites DSP comportent un télescope muni de 2 000 à 6 000 détecteurs infrarouges qui leur permet de détecter toute émission de chaleur condensée anormalement élevée dans la zone terrestre qu'ils surveillent en permanence. Ils peuvent ainsi détecter les lancements de missiles balistiques. Cette détection infrarouge est transmise sous forme d'images de type télévision à une station de l'Air Force Space Command située à Alice Springs en Australie et au Space Command's Missile Warning Center de Colorado Springs, aux États-Unis. Les satellites DSP-Block 14 peuvent communiquer entre eux par des liaisons laser, difficiles à brouiller. Lors de la guerre du Golfe, ce sont des satellites de cette famille qui ont détecté les tirs de Scud et donné l'alerte.

Dubhe (de l'arabe *dubb,* ours). Étoile *α* de la Grande Ourse. Magnitude apparente visuelle : 1,8. Type spectral : KO. Distance : 130 années de lumière.

Duhr (d'une locution arabe signifiant *le dos du lion,* par allusion à sa position dans la constellation). Autre nom de *Zosma*,* étoile δ du Lion.

Dumb-Bell (nébuleuse) [Mot anglais signifiant *battant de cloche*]. Autre nom de la « nébuleuse du Diabolo ».

Duque (Pedro), ingénieur et spationaute espagnol (Madrid 1963).

Sélectionné comme astronaute par l'Agence spatiale européenne en mai 1992, il suit une phase préparatoire d'entraînement au Centre des astronautes européens, à Cologne, et à la Cité* des étoiles, près de Moscou, en vue des missions EuroMir 94 et 95. En mai 1995, il est sélectionné par la NASA comme spécialiste charge utile suppléant. Membre de la mission STS 95 de la navette spatiale américaine (29 octobre - 7 novembre 1998), il devient le premier spationaute espagnol.

dynamo (effet). Phénomène physique invoqué pour expliquer l'origine des champs magnétiques observés autour des planètes et des étoiles, et fondé sur les mouvements de rotation et de convection de l'intérieur fluide et conducteur de ces astres.

Dyna-Soar (contraction de *Dynamic Ascent and Soaring Flight,* ascension dynamique et vol plané). Projet américain de planeur spatial à aile delta étudié à partir de la fin des années 50, comme extension possible du programme de l'avion-fusée X-15, rebaptisé X-20 en 1962 et finalement abandonné en 1963.

e

£ Aurigae. Étoile s du Cocher.
ENCYCL. Sans être brillante, elle est toujours aisément visible à l'œil nu. En 1824, l'astronome amateur allemand J.H. Fritsch découvre qu'elle présente des variations d'éclat, sa magnitude évoluant entre 3,3 et 4,2. Plus tard, on constate qu'il s'agit d'une binaire à éclipses d'un type particulier, ses éclipses ne se produisant que tous les 27 ans et durant plus de 700 jours. La composante la plus brillante est une supergéante jaune extrêmement lumineuse, à l'éclat 60 000 fois plus intense que le Soleil. Elle présente des pulsations complexes, d'une périodicité de trois mois environ, imputées à un anneau de gaz chaud qui l'entourerait, à l'équateur. La composante sombre, responsable des éclipses, est invisible et n'est connue que par *son* rayonnement infrarouge.
Selon le modèle le plus généralement accepté aujourd'hui, les éclipses partielles de la supergéante seraient provoquées par un disque de poussières et de petits corps solides, au centre duquel se cacherait un couple d'étoiles bleues, chaudes, éjectant par leurs pôles des jets de gaz, au-dessus et au-dessous du disque.

EAC (sigle de *European Astronaut Centre,* Centre des astronautes européens). Établissement de l'Agence spatiale européenne, créé en 1989 à Cologne (Allemagne), qui est chargé de recruter les astronautes européens, de coordonner leur formation et de déterminer leur affectation à des activités en vol ou au sol.

EAP. Sigle d'Étage d'Accélération à Poudre. -» **Ariane**

Early Bird. Premier satellite de télécommunications géostationnaire opérationnel, lancé de cap Kennedy (cap Canaveral) le 4 avril 1965.
ENCYCL. II est aussi connu sous le nom d'Intelsat 1, car il constitua le premier satellite de l'organisation internationale Intelsat*. D'une masse de 38 kg, il pouvait acheminer au-dessus de l'océan Atlantique 240 circuits téléphoniques simultanés ou un programme de télévision.

earth-grazer n.m. (mot anglais signifiant *fréteur de terre).* Astéroïde décrivant une orbite du Soleil qui peut l'amener à frôler la Terre.
ENCYCL. On distingue trois familles *d'earth-grazers :*
- les astéroïdes du type Apollo* (ou *earth-crossers),* dont le périhélie est situé à l'intérieur de l'orbite terrestre et dont l'orbite coupe donc celle de la Terre ;
- les astéroïdes du type Amor*, dont le périhélie est situé légèrement à l'extérieur de l'orbite terrestre et qui peuvent s'approcher fortement de la Terre lors de leur retour aù périhélie ;
- les astéroïdes du type Aten*, qui circulent essentiellement à l'intérieur de l'orbite terrestre.

Earthnet. Ensemble des moyens au sol installés par l'Agence spatiale européenne pour recueillir, archiver, traiter et diffuser des données provenant de satellites de télédétection.
ENCYCL. Approuvé au niveau ministériel en 1977, le programme Earthnet a constitué l'un des programmes obligatoires de l'ESA,

auxquels tous les États membres de l'Agence sont tenus de participer. Devenu opérationnel en 1978, le système Earthnet utilise un réseau de stations de réception qui s'étend de l'extrême nord de la Suède (Kiruna) jusqu'aux îles Canaries (Maspalomas) en passant par l'Italie (Fucino). Les données reçues des satellites (Landsat, NOAA, Tiros, Météosat, SPOT, ERS...) sont gérées par le Bureau du programme Earthnet, implanté à l'ESRIN, à Frascati (Italie).

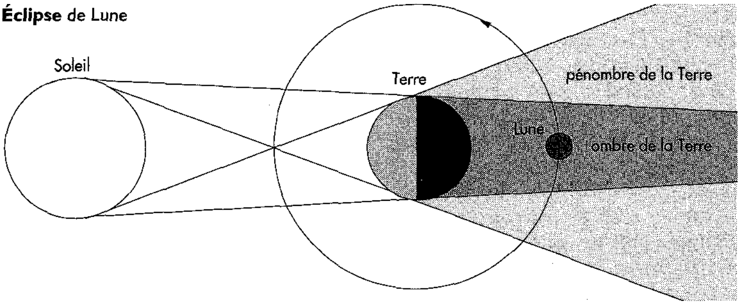
ébauchage n.m. Première phase de la taille d'un miroir de télescope.
ENCYCL. Cette opération consiste à frotter deux disques de verre de même diamètre l'un contre l'autre en interposant entre eux un abrasif très puissant. L'un des disques sera le miroir, et l'ébauchage lui donnera une forme sphérique concave. L'autre, d'épaisseur plus faible, sera l'outil et deviendra convexe. Pour obtenir approximativement la concavité désirée, on imprime à l'un des disques une série de mouvements de va-et-vient (course) de forme particulière pour qu'il frotte convenablement l'autre disque.

Echo. Nom de deux satellites de télécommunications américains expérimentaux du type passif, consistant en des ballons en Mylar de grand diamètre (respectivement 30 et 42 m), dont la surface, recouverte d'une fine couche d'aluminium, réfléchissait les signaux radioélectriques.
ENCYCL. Echo 1, lancé le 12 août 1960, pesait 61 kg et gravitait initialement entre 600 et 1 700 km d'altitude ; il retomba le 24 mai 1968. Echo 2, lancé le 25 janvier 1964, pesait 256 kg et gravitait initialement entre 1 000 et 1 300 km d'altitude ; il retomba le 7 juin 1969. Les deux satellites, du fait de leurs grandes dimensions, étaient très facilement visibles à l'œil nu, peu après le coucher du Soleil ou peu avant son lever.

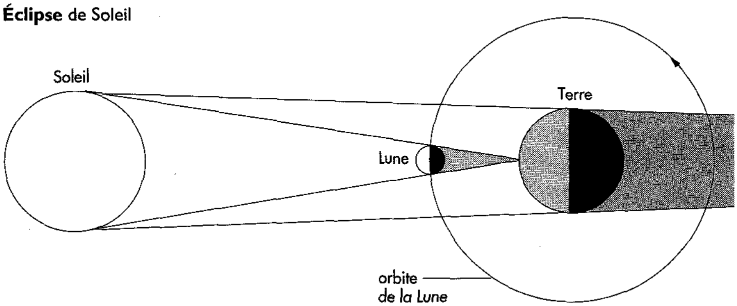
éclat n.m. Synonyme de luminosité.

éclipse n.f. 1. Disparition temporaire, totale ou partielle, d'un objet céleste (astre ou engin spatial), causée par l'interposition d'un autre objet céleste entre le premier et la source de rayonnement qui l'éclairé. C'est le cas, par exemple, d'une éclipse de Lune, due à l'interposition de la Terre entre la Lune et le Soleil et, donc, au passage de la Lune dans l'ombre de la Terre. 2. Disparition passagère d'un objet céleste, pour un observateur donné, causée par l'interposition entre cet objet et l'observateur d'un objet céleste de plus grand diamètre apparent. C'est le cas, notamment, d'une éclipse de Soleil, due à l'interposition du disque de la Lune devant celui du Soleil ; il est alors préférable de parler *d'occultation.*
ENCYCL. Un satellite artificiel de la Terre connaît une éclipse lorsqu'il passe dans le cône d'ombre de la planète. Ce phénomène est important pour deux raisons : d'une part, le générateur solaire du satellite ne peut fonctionner pendant la durée de l'éclipsé ; d'autre part, le passage de la lumière à l'ombre et inversement produit une importante variation de température à laquelle le satellite doit résister.
ENCYCL. Les éclipses de Lune et de Soleil constituent des phénomènes spectaculaires observés depuis l'Antiquité et qui ont été longtemps redoutés.
ÉCLIPSES DE LUNE. Éclairée par le Soleil, la Terre, opaque, projette derrière elle un cône d'ombre, circonscrit aux deux astres ; un point intérieur à ce cône, derrière la Terre, se trouve plongé dans l'obscurité. Si la Lune pénètre, en tout ou partie, dans ce cône, elle cesse, complètement ou partiellement, d'être éclairée, et il y a éclipse totale ou éclipse partielle (*voir* schéma). À l'intérieur d'un second cône circonscrit, l'intensité de la lumière reçue par la Lune est diminuée : c'est la pénombre. Si la Lune se mouvait dans le plan de l'écliptique, il y aurait éclipse totale à chaque pleine lune car, à la distance de la Lune, la largeur du cône d'ombre est très supérieure au diamètre de notre satellite. Mais l'orbite de la Lune est inclinée sur l'écliptique, et, suivant sa latitude écliptique, elle passe tantôt au-dessus, tantôt audesaoua du ttrAxc de Voiriore ; si 'l'écart est faible, plus petit que le rayon de l'ombre, la Lune s'y trouve en partie immergée, et l'éclipsé est partielle. Une éclipse de Lune est visible de tous les points de la Terre où la Lune est au-dessus de l'horizon.
Selon la position de la Lune par rapport au cône d'ombre de la Terre, la phase ae tota-

Éclipse de Lune



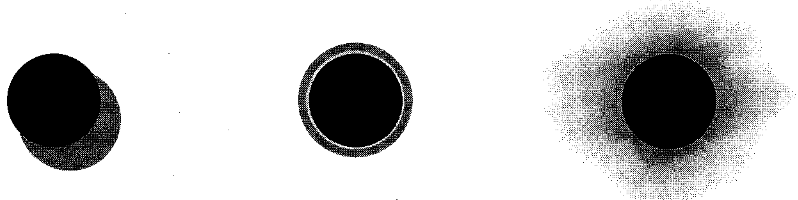
Éclipse de Soleil



lité de l'éclipsé dure de quelques minutes à 1 heure 45 minutes au maximum. Il est rare que la Lune disparaisse complètement lorsqu'elle se trouve totalement plongée dans l'ombre. En général, elle se pare d'une magnifique teinte rougeâtre ou cuivrée. Cela est dû au fait que l'atmosphère terrestre réfracte vers la Lune une partie de la lumière qu'elle reçoit du Soleil, en absorbant au passage les rayons bleus et en ne laissant passer que les rouges. La luminosité résiduelle et la coloration de la Lune éclipsée dépendent de l'activité solaire et du degré de transparence de l'atmosphère terrestre. On les estime à l'aide de l'échelle de Danjon*.

ÉCLIPSES DE SOLEIL. Par une remarquable coïncidence, la Lune est environ 400 fois plus petite que le Soleil, mais aussi 400 fois plus proche, de sorte que les deux astres présentent dans le ciel pratiquement le même diamètre apparent. Une éclipse de Soleil se produit lorsque la Lune passe devant le disque solaire *(voir* schéma). Compte tenu des dimensions et des distances relatives moyennes de la Terre, de la Lune et du Soleil, le sommet du cône d'ombre de la Lune vient se placer à peu près sur la surface terrestre, tantôt un peu en avant, tantôt un peu en arrière. Dans le premier cas, les observateurs situés dans le pinceau d'ombre qui vient balayer la surface terrestre verront une éclipse annulaire, le diamètre apparent de la Lune étant inférieur à celui du Soleil ; dans le second cas, ils verront une éclipse totale, plus ou moins longue, le diamètre apparent de la Lune étant égal ou supérieur à celui du Soleil. Ceux qui sont situés dans le cône de pénombre observeront une éclipse partielle. Il y aurait éclipse de Soleil à chaque nouvelle lune si l'orbite lunaire était sans inclinaison ; en fait, les éclipses de Soleil sont trois fois plus fréquentes que les éclipses de Lune, mais elles ne sont observables qu'à partir d'une région de la Terre relativement réduite. Les éclipses totales ne correspondent qu'à une bande étroite (de l'ordre de 250 km) que vient balayer le sommet du cône d'ombre. Le maximum de durée d'une éclipse totale est de huit minutes à l'équateur, six à la latitude de Paris ; celui d'une éclipse annulaire, de douze et dix minutes.

Différents types d'**éclipses** de Soleil



éclipse partielle — éclipse annulaire — éclipse totale

Des éclipses totales de Soleil ne sont observées en un même lieu qu'à de très longs intervalles de temps. Ainsi, depuis le début du siècle, trois éclipses totales seulement ont été visibles en France, la première le 17 avril 1912, la deuxième le 15 février 1961, et la troisième le 11 août 1999. Les éclipses se reproduisent au terme d'une période de 18 ans 11 jours, appelée *saros**. En une année, il y a au plus 7 éclipses : 5 ou 4 de Soleil et 2 ou 3 de Lune ; il y en a au minimum 2 et, s'il n'y en a que 2, ce sont des éclipses de Soleil.

écliptique. 1. n.m. Plan de l'orbite terrestre autour du Soleil ; grand cercle de la sphère céleste, trace du plan précédent. *Axe*

LES ÉCLIPSES TOTALES ET ANNULAIRES DE SOLEIL DE 2000 À 2004

Date	Type	Durée maximale de la totalité	Heure du milieu de l'éclipse en temps universel	Zone de visibilité
21 juin 2001	annulaire	4 min 56 s	12 h 04	Madagascar
14 décembre 2001	annulaire	3 min 54 s	20 h 54	Océan Pacifique, Amérique centrale
10 juin 2002	annulaire	1 min 13 s	23 h 45	Océan Pacifique
31 mai 2003	annulaire	3 min 37 s	4 h 10	Groenland
23 novembre 2003	totale	1 min 57 s	22 h 47	Antarctique

LES ÉCLIPSES DE LUNE PAR L'OMBRE DE LA TERRE DE 2000 À 2004

Date	Type	Grandeur	Heure du milieu de l'éclipse en temps universel	Visibilité en France
21 janvier 2000	totale	1,33	4 h 46	entièrement visible
16 juillet 2000	totale	1,77	13 h 56	invisible
9 janvier 2001	totale	1,18	20 h 20	entièrement visible
5 juillet 2001	partielle	0,49	14 h 58	invisible
16 mai 2003	totale	1,13	3 h 43	début visible
9 novembre 2003	totale	1,02	1 h 20	entièrement visible
4 mai 2004	totale	1,30	23 h 30	fin visible
28 ocotobre 2004	totale	1,31	3 h 04	entièrement visible

de l'écliptique : diamètre de la sphère céleste, perpendiculaire au pian de l'écliptique. *Obliquité de l'écliptique :* angle que forment les deux plans de l'écliptique et de l'équateur. céleste. *Pôles de l'écliptique :* points où l'axe de l'écliptique rencontre la sphère céleste. 2. adj. Qui se rapporte à l'écliptique.
ENCYCL. L'écliptique doit son nom au fait que les éclipses de Soleil et de Lune ne sont possibles que lorsque la Lune en est très voisine.
Par suite des perturbations introduites dans le mouvement de la Terre par les autres planètes (Jupiter, surtout à cause de sa masse, et Vénus, à cause de sa proximité), le plan de l'écliptique est animé d'un balancement à très longue période (20 000 ans) qui, pour l'instant, fait diminuer l'angle qu'il forme avec le plan de l'équateur de 0",48 par an.

écorce n.f. Synonyme de croûte.

écoute électronique. Ensemble des méthodes permettant d'obtenir de l'information sur les activités techniques ou militaires d'un État en enregistrant et analysant ses émissions électromagnétiques les plus diverses (celles utilisées en télécommunications ou émises par des avions, des radars, etc.). Telle est la fonction des satellites d'écoute électronique utilisés par les militaires américains et russes. L'acronyme américain Elint (pour Electronic intelligence) désigne une partie de cette activité.

Écrevisse. Nom français parfois donné à la constellation du Cancer.

écroulement gravitationnel. Synonyme de effondrement* gravitationnel.

ECS (sigle de *European Communications Satellite).* Satellites géostationnaires de télécommunications européens financés par l'Agence spatiale européenne et exploités commercialement par Eutelsat. Cinq exemplaires ont été lancés, dont quatre avec succès, par des fusées Ariane entre 1983 et 1988.

Écu de Sobieski (en latin, *Scutum, -ti Sobiescanum, -ni). Petite* constellation australe, dans la Voie lactée, entre le Sagittaire, l'Aigle et la queue du Serpent.
ENCYCL. Elle a été ainsi nommée vers 1660 par J. Hevelius* en l'honneur de Jean III Sobieski (1624-1696), qui s'illustra comme général dans plusieurs guerres avant de devenir roi de Pologne (1674). Ses étoiles sont peu brillantes, mais elle abrite les amas stellaires ouverts Mil et M26, et l'amas globulaire NGC 6712, accessibles aux instruments d'amateur.

Eddington (sir Arthur Stanley), astrophysicien anglais (Kendal, 1882 - Cambridge 1944).
Pionnier de l'étude de la physique des étoiles, il a développé, de 1916 à 1924, la théorie de leur équilibre radiatif et a pu ainsi, le premier, élaborer un modèle détaillé de leur structure interne et suggérer qu'elles tirent leur énergie de réactions thermonuciéaires se produisant dans leurs régions centrales. Il a pu ainsi établir, en 1924, qu'il existe une relation entre leur masse et leur luminosité. Ses recherches ont porté également sur les implications, en astrophysique, de la théorie de la relativité. En 1919, à l'occasion d'une éclipse totale de Soleil, il vérifia, conformément aux prévisions de cette théorie, que la lumière des étoiles lointaines est déviée par le champ de gravitation du Soleil. Plus tard, il fut, avec l'abbé Lemaître*, à l'origine de la théorie de l'expansion de l'Univers. On lui doit enfin des ouvrages qui ont beaucoup contribué à diffuser les découvertes de son époque dans le domaine de l'astrophysique. Il a, en particulier, exposé ses travaux sur la structure des étoiles dans *The Internai Constitution of Stars* (1926).

Edwards (base). Base de l'US Air Force, située dans le désert Mohave, en Californie, à 130 km environ au nord de Los Angeles.
ENCYCL. Elle inclut dans son périmètre les installations d'un Centre d'essais en vol de la NASA (Hugh L. Dryden Fiight Research Facility) et un lac asséché de plus de 100 km^2 utilisé notamment comme piste d'atterrissage des navettes spatiales.

Effelsberg (observatoire radio d'). Observatoire radioastronomique du Max-Planck-Institut für Radioastronomie, *situé* à

40 km au S.-O. de Bonn, en Allemagne. Fondé en 1967, il abrite le plus grand radiotélescope paraboloïdal orientable du monde (100 m de diamètre), mis en service en 1972, qui permet des observations aux longueurs d'onde comprises entre 92 cm et 4 mm.

effet de serre -> serre

effondrement gravitationnel. Événement cataclysmique de la vie d'une étoile, survenant lorsque les forces de gravitation l'emportent sur les forces nucléaires au sein de cette étoile.

EGA. Abréviation de *Earth-GrazingAsteroid* désignant un astéroïde qui peut frôler la Terre, SYN : *earth-grazer, Near Earth Asteroid (NEA géocroiseur).*

Égalité. Nom donné à l'un des arcs de matière observés dans l'anneau de Neptune le plus éloigné de la planète.

egg n.m. (mot angl. signifiant *œuf* et acronyme angl. de globule gazeux en évaporation). Structure sombre ovoïdale abritant une étoile en formation, dans une nébuleuse. SYN : *larme cosmique*

Egnos (acronyme de l'angl. *European GeostatioNnary Overlay Service).* Système européen de navigation par satellites. -* **GNSS**

Einstein (Albert), physicien américain d'origine allemande (Ulm 1879 - Princeton, New Jersey 1955).
Après des études secondaires peu brillantes au lycée de Munich, il entra en 1896 à l'Institut polytechnique de Zurich. Il trouva en 1902 un emploi à l'Office fédéral des brevets de Berne. Nommé, non sans mal, chargé de cours à l'université de Zurich en 1909, il n'y resta que deux ans. Après un séjour à l'université de Prague (1911-12) suivi d'un bref retour à Zurich, il accepta, après mûre réflexion, un poste de professeur à l'institut Kaiser-Wilhelm de Berlin. Il y lesta jusqu'à la prise du pouvoir par Hitler, sans toutefois s'y fixer complètement puisqu'il effectua de nombreux voyages et séjours dans les universités étrangères. Obligé de quitter l'Allemagne en 1933, il s'installa d'abord à Paris, puis en Belgique, avant d'accepter la première chaire de professeur à l'Institute for Advanced Study de Princeton, où s'acheva sa carrière. En démontrant l'existence du photon*, en établissant l'équivalence de la masse et de l'énergie, et en développant la théorie de la relativité* (1905 sous sa forme restreinte, 1916 sous sa forme généralisée) qui a révisé les notions d'espace et de temps, et introduit une conception nouvelle de la gravitation*, il a bouleversé la physique et l'astronomie, et renouvelé la cosmologie*.

Einstein (anneau d'). Image circulaire d'une source céleste ponctuelle distante, obtenue lorsqu'une concentration de masse située sur la ligne de visée agit comme une lentille* gravitationnelle. Prévue par la théorie de la relativité générale, cette figure est observée pour certains quasars* dont le rayonnement est dévié par des galaxies plus proches.

Einstein (effet). Nom sous lequel on désigne indifféremment deux phénomènes d'origine gravitationnelle prévus par la théorie de la relativité générale : la déviation des rayons lumineux ou le décalage* spectral vers le rouge affectant le rayonnement d'un astre qui passe au voisinage d'une très grosse masse avant d'atteindre la Terre.

Einstein (observatoire). Nom donné au satellite américain d'astronomie X HEAO 2, en hommage au physicien A. Einstein* à l'occasion du centenaire de sa naissance.
ENCYCL. Lancé le 13 novembre 1978, et placé initialement sur une orbite circulaire à 537 km d'altitude, il comportait essentiellement un télescope à incidence rasante de 58 cm de diamètre, capable de donner des images à haute résolution du ciel dans le domaine des rayons X, dans la bande d'énergie 0,4 à 4 keV (**—astronomie X, télescope X).** Il permettait également de faire de la spectroscopie à basse et à moyenne résolution. Ce fut le premier observatoire spatial capable d'être pointé (avec une précision de 1') dans une direction donnée pour collecter le flux de rayonnement X émis par une source donnée. Son pouvoir de résolution était d'environ 4", correspondant à celui

des télescopes optiques au sol dans des conditions d'observation moyennes. Fonctionnant jusqu'en avril 1981, il a détecté plus de 10 000 sources célestes de rayonnement X, la luminosité des plus faibles n'excédant pas le millionième de celle du Soleil dans le domaine optique.

Eiscat (acronyme de *European Incohérent SCATter facitity,* équipement à diffusion incohérente européen). Sondeur ionosphérique européen destiné à l'étude des relations Soleil-Terre et de l'environnement terrestre en région aurorale, grâce à la diffusion d'ondes électromagnétiques de fréquence élevée par les électrons libres de la haute atmosphère.

ENCYCL. L'installation comprend deux systèmes de sondage indépendants : un système UHF pourvu d'une antenne émettrice et réceptrice installée à Tromso (Norvège), et de deux antennes réceptrices situées respectivement à Kiruna (Suède) et à Sodankylà (Finlande), et un système VHF comportant une antenne émettrice et réceptrice à Tromso. Ces équipements sont gérés par l'association scientifique Eiscat, créée en 1975, dont le siège est à Kiruna, et à laquelle participent l'Allemagne (25 %), la Grande-Bretagne (25 %), la Norvège (10 %) et la Suède (10 %).

Eiscat permet l'observation des hautes couches de l'ionosphère et de la magnétosphère terrestres. L'étude de la circulation à grande échelle des particules ionisées apporte des informations sur les interactions du vent solaire avec l'environnement ionosphérique et magnétosphérique de la Terre. Les programmes de recherche, coordonnés pour la plupart à l'échelle mondiale, ont pour objectif une couverture globale des couplages magnétosphère - ionosphère - thermosphère, l'analyse des sous-orages magnétiques ou la mise au point d'une carte globale de la thermosphère. Un nouveau radar, ESR (Eiscat Svalbard Radar), installé dans l'archipel du Spitzberg, au Svalbard, va permettre d'étendre les mesures au voisinage du pôle.

éjecta n.m.pl. Matériaux libérés par une éruption volcanique ou arrachés à la surface d'une planète ou d'un satellite naturel par l'impact d'un corps céleste.

ENCYCL. Les éjecta se répartissent, en général, dans une zone circulaire autour du lieu d'impact ou du centre volcanique. Dans le cas d'impacts très violents, ou sur des astres où la vitesse* de libération est faible, certains éjecta peuvent s'échapper dans l'espace. Les rayons* observés autour de certains cirques *lunaires* sont vraisemblablement des éjecta.

Ekran (en russe, *écran).* Satellites géostationnaires servant à la diffusion de la télévision moscovite vers certaines régions du territoire de la CEI. De 1976 à 1998, une vingtaine de satellites de ce type ont été lancés.

El Nath (nom arabe signifiant *ta corne).* Étoile (3 du Taureau. Magnitude apparente visuelle : 1,7. Type spectral : B8. Distance : 130 années de lumière.

ELA (sigle de Ensemble de Lancement Ariane). Installations techniques du Centre spatial guyanais utilisées pour la préparation et le lancement des différentes versions du lanceur Ariane.

ENCYCL. On distingue :

ELA 1, opérationnel de décembre 1979 à juillet 1989, pour les versions Ariane 1, 2 et 3 ;

ELA 2, opérationnel depuis mars 1986, d'où décollent tous les lanceurs Ariane 4 ;

ELA 3, construit à partir de 1988 pour les lanceurs Ariane 5. **Kourou**

Elara. Satellite de Jupiter (n° VII), découvert par l'Américain C.D. Perrine en 1905. Demi-grand axe de son orbite : 11 737 000 km. Période de révolution sidérale : *259,653* j. Diamètre : 80 km.

ELDO (sigle de *European Launcher Development Organization).* Ancienne organisation spatiale européenne dont le sigle français était CECLES (Conseil européen pour la mise au point et la construction de lanceurs d'engins spatiaux).

ENCYCL. La convention créant l'ELDO fut signée en 1962 par la Belgique, la France, l'Italie, les Pays-Bas, la République fédérale d'Allemagne et le Royaume-Uni. Elle est entrée en vigueur en 1964.

En 1973 l'ELDO fusionna avec un autre organisme, l'ESRO*, pour donner naissance à l'Agence* spatiale européenne (ESA).

électromagnétique adj. -+ **rayonnement**

électronogramme n.m. Image obtenue par électronographie.

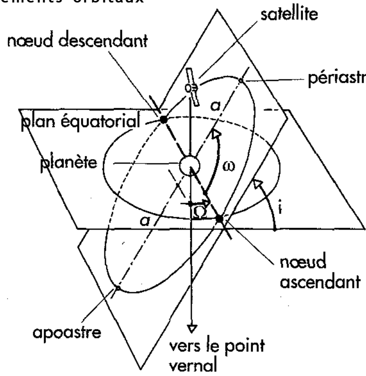
électronographie n.f. (de *électron* [ique] et *-graphie).* Technique d'enregistrement d'une image électronique sur une plaque photographique, grâce à une caméra électronique.

électronvolt n.m. Unité d'énergie (symbole : eV). utilisée en physique atomique et nucléaire, qui équivaut à l'énergie acquise par un électron lorsqu'il est accéléré, dans le vide, sous une différence de potentiel de 1 volt.
ENCYCL. L'électronvolt est une unité pratique pour exprimer l'énergie des particules atomiques. On utilise aussi ses multiples : le kiloélectronvolt (keV), qui vaut 1 000 eV ; le mégaélectronvolt (MeV), qui vaut 10^5 eV ; et le gigaélectronvolt (GeV), qui vaut 10^9 eV. Ces unités servent notamment à exprimer l'énergie des rayonnements X et y (1 eV = 1,602-10^{-19} joule).

électrophorèse n.f. Technique de séparation de molécules par un champ électrique.
ENCYCL. Mise en œuvre dans l'espace à plusieurs reprises, notamment sur certains vols Apollo et quelques missions de la navette américaine, cette technique semble fournir de meilleurs rendements que sur Terre et des produits de plus grande pureté du fait de la suppression des effets de la pesanteur et de la convection.

éléments orbitaux. Ensemble de valeurs numériques permettant de définir, sans aucune ambiguïté, d'une part l'orbite d'un objet céleste, d'autre part sa position à tout instant sur cette orbite.
ENCYCL. Ces éléments sont au nombre de six, à savoir une distance, un rapport de distances et quatre angles : le demi-grand axe (a), l'excentricité (e), l'inclinaison (i), l'argument

Éléments orbitaux

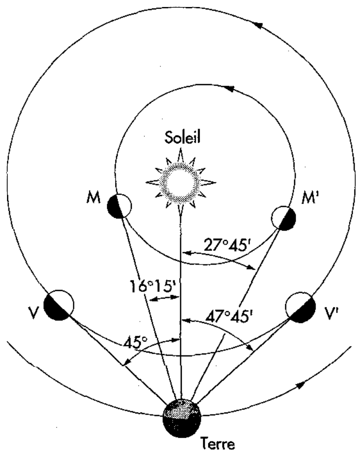


du périastre (ta), l'ascension droite du nœud ascendant (£2) et l'anomalie moyenne (M). SYN : *paramètres orbitaux.*

Elint -» **écoute électronique**

élongation n.f. 1. Distance angulaire d'un astre au Soleil, pour un observateur situé sur la Terre. **2.** Dans le cas d'un satellite d'une planète, distance angulaire géocentrique du satellite à la planète.
ENCYCL. Alors que l'élongation d'une planète supérieure peut prendre toute valeur comprise entre 0° et 180°, elle passe, dans le cas des planètes inférieures, par des maximums

Élongation



appelés « plus grandes élongations ». En fait, le terme s'emploie presque exclusivement pour les planètes inférieures*, Mercure et Vénus. Les élongations maximales de Vénus varient entre 45° et 47°45', celles de Mercure entre 16°15' et 27°45' (*voir* schéma), variation plus forte en raison de l'importante excentricité de l'orbite de cette planète. L'élongation est dite *orientale* ou *occidentale,* suivant que l'astre se trouve à l'est ou à l'ouest du Soleil, pour l'observateur.

Elysium Planitia. Grande plaine volcanique de Mars, de plus de 5 000 km de large, centrée approximativement par 25° N. et 210° O.

émersion n.f. Réapparition d'un astre ayant subi une occultation.

émission n.f. Processus au cours duquel un système physique produit un flux de matière ou de rayonnement porteur d'énergie. -» **spectre**

Encelade. Satellite de Saturne (n° II), découvert en 1789 par W. Herschel.
ENCYCL. Demi-grand axe de son orbite : 238 040 km. Période de révolution sidérale : 1,370 j. Diamètre : 500 km. Densité moyenne : 1,1. De tous les satellites connus de Saturne, c'est celui dont la surface présente le plus fort pouvoir réfléchissant (proche de 100 %). Elle est, de ce fait, particulièrement froide (72 K, soit -201 °C).
Essentiellement constituée de glace, elle apparaît, dans l'ensemble, très uniforme sur les photographies qui en ont été prises à faible distance par Voyager 2 en 1981.
À l'exception ae quelques zones grêlées de cratères d'impact, on y observe surtout de grandes plaines rayées de fractures, considérées comme des formations assez jeunes, et l'on présume qu'elle subit un remodelage périodique, consécutif à une fusion de la glace emprisonnée à l'intérieur de l'astre, peut-être sous l'effet de marées induites par Saturne et Dioné.

Encke (comète d'). Comète périodique dont J.F. Encke démontra l'identité avec les comètes apparues en 1786, 1795, 1805 et 1818, dont il prédit le retour près du Soleil en 1825 et dont il découvrit, en 1838, l'accélération séculaire du mouvement.
ENCYCL. De toutes les comètes périodiques actuellement connues, elle est celle dont la période est la plus courte (3,31 ans). Au périhélie, elle s'approche à 5i millions de kilomètres du Soleil ; à l'aphélie, elle s'en éloigne à 615 millions. Depuis 1818, elle a été observée à chacun de ses retours, sauf en 1944. Les instruments actuels permettent de la suivre sur toute son orbite.

Encke (Johann Franz), astronome allemand (Hambourg 1791 - Spandau 1865).
Directeur ae l'observatoire royal de Berlin, auteur de nombreux ouvrages sur l'astronomie, il s'est rendu célèbre par ses travaux sur les comètes, particulièrement sur la comète périodique qui porte son nom. On lui doit aussi une détermination de la parallaxe* solaire (1824), déduite des passages de Vénus devant le Soleil observés en 1761 et 1769, qui donnait une valeur d'environ 153 millions de kilomètres pour la distance moyenne de la Terre au Soleil.

Encke (sillon d'). L'une des divisions observées depuis la Terre dans le système d'anneaux de Saturne, à l'intérieur de l'anneau A, *l'un des deux plus* brillants visibles de la Terre.
ENCYCL. Bien que la découverte de ce sillon soit souvent attribuée à J. Encke, il semble plutôt que ce soit J. Keeler qui l'ait observé le premier. Large de 300 km environ, le sillon est situé à une distance moyenne de 133 600 km du centre de Saturne. Sur *une* photographie prise par la sonde américaine Voyager 2, on y distingue un mince anneau ondulé.

Endeavour. Nom d'un orbiteur de la navette spatiale américaine qui a remplacé l'orbiteur Challenger détruit par une explosion en vol en janvier 1986.
ENCYCL. Sa construction a été engagée en 1987 et son premier vol a eu lieu en mai 1992. Il se distingue des trois autres orbiteurs en service par des systèmes informatiques et des appareils de navigation améliorés, une plus longue autonomie en orbite (28 j) et le déploiement d'un parachute de 12 m de diamètre à chaque atterrissage.

Energia (mot russe signifiant *énergie).* Lanceur soviétique, le plus puissant des lanceurs spatiaux jamais construits au monde, utilisé à deux reprises en 1987 et 1988 et abandonné ensuite.

ENCYCL. Energia était un lanceur biétage, d'aspect très trapu, composé :

- d'un corps central cylindrique (longueur : 60 m, diamètre : 8 m) qui jouait le rôle de second étage. Il était comparable, par sa forme et ses dimensions, au réservoir extérieur de la navette américaine. À sa base, quatre moteurs cryotechniques (consommant de l'hydrogène et de l'oxygène) d'une poussée unitaire de 2 000 kN. C'était la première utilisation par l'ex-URSS de la propulsion cryotechnique, et d'emblée avec un modèle très performant, légèrement plus puissant que les moteurs principaux (SSME) des orbiteurs américains ;
- de quatre propulseurs d'appoint accolés à ce corps central, qui constituaient le premier étage. Chacun de ces éléments possédait un moteur à propergol liquide (oxygène et kérosène) d'une poussée de 8 000 kN.

L'ensemble mesurait 60 m de haut et pesait plus de 2 000 t. Au décollage, sa poussée totale avoisinait 40 000 kN. Il pouvait satelliser en orbite terrestre basse^ une charge utile d'une centaine de tonnes. A Baïkonour, un site de lancement lui était réservé.

À titre de comparaison, on peut indiquer que :

- le lanceur américain Saturn V, construit pour le programme Apollo, mesurait 110 m de haut et avait, au décollage, une masse de 2 900 t et une poussée de 33 850 kN ;
- la navette spatiale américaine, haute de 56 m, développe une poussée initiale de 30 800 kN pour une masse de 2 000 t.

Au décollage, les deux étages (soit les huit moteurs) d'Energia étaient allumés simultanément. Environ deux minutes plus tard, les quatre propulseurs latéraux se séparaient et étaient récupérès au moyen d'un système de parachutes (Energia était donc un lanceur partiellement réutilisable). Le second étage continuait à fonctionner afin d'atteindre une vitesse légèrement inférieure à celle de satellisation (le complément de vitesse devant être fourni, çat la charge utile)`•. Il pouvait ainsi retomber dans une zone du Pacifique déterminée à l'avance. Cette manière de procéder, que les États-Unis utilisent aussi pour le réservoir extérieur de leur navette, évite les risques d'un retour incontrôlé sur Terre d'objets pesant plusieurs dizaines de tonnes.

Deux exemplaires seulement ont été utilisés :

- le 15 mai 1987, pour le vol inaugural. Pour la circonstance, le lanceur n'emportait qu'une maquette de satellite (représentative par sa masse et ses dimensions), accrochée latéralement, entre deux éléments du premier étage. Les deux étages ont fonctionné normalement mais, par suite d'une défaillance de son moteur propre, la charge utile n'a pu être satellisée et est retombée dans le Pacifique. Néanmoins, l'objectif essentiel étant atteint, ce premier vol constitua un succès ;
- le 15 novembre 1988, pour le premier lancement de la navette Bourane. Propulsée sans équipage, celle-ci accomplit deux fois le tour du globe terrestre avant d'atterrir à une douzaine de kilomètres de son aire de lancement, quittée 3 h 25 min auparavant.

Mais les difficultés économiques ont contraint l'URSS à abandonner l'exploitation de ce lanceur.

énergie de bord. Équipement assurant l'alimentation électrique d'un véhicule spatial.

ENCYCL. Par nature, tout satellite est nécessairement autonome sur le plan énergétique. Il doit produire lui-même l'électricité indispensable aux organes de sa plate-forme et aux instruments de sa charge utile. Le sous-système « énergie de bord » comprend les moyens de production, de stockage et de distribution de l'énergie électrique. Il peut représenter de 20 à 30 % du coût total de la plate-forme. Les satellites actuels réclament souvent de fortes puissances électriques : quelques kilowatts pour ceux de fplpmm. munications, une dizaine de kilowatts pour les navettes et certains satellites militaires de surveillance, des dizaines de kilowatts pour une station orbitale.

La source d'énergie peut être de nature solaire, chimique ou nucléaire. Le choix entre ces àffléïeo.tes> possi1ov\.\tés ptenà en. compte la nature de la mission et les spécificités de la source.

- *Des* générateurs* solaires équipent la plupart des satellites de la Terre. Par conversion photovoltaïque, ils produisent environ 100 W par mètre carré de générateur.
- Les piles* à combustible conviennent aux missions habitées de courte durée.
- Les réacteurs nucléaires (à fission) de certains satellites militaires d'observation dotés d'un radar sont capables de fournir pendant plusieurs années de fortes puissances (de *10 à quelques centaines de* kilowatts). Mais l'emploi de substances radioactives (comme l'uranium enrichi) et la création de produits de fission ne sont pas sans risque en cas de rentrée fortuite dans l'atmosphère ainsi que l'ont montré les accidents liés à des satellites soviétiques (comme Cosmos 954 et 1900).
- Les générateurs thermoélectriques à radioisotope (RTG en anglais) sont utilisés sur certaines sondes spatiales trop éloignées du Soleil pour bénéficier d'un flux lumineux suffisant. L'électricité est obtenue par effet thermoélectrique (chauffage des thermoéléments par l'énergie dégagée par la désintégration d'isotopes radioactifs, en général le plutonium). Les puissances délivrées restent faibles : quelques centaines de watts au maximum.

engin spatial. Objet de fabrication humaine situé dans l'espace ou destiné à y aller.

Enif. Étoile s de Pégase. Magnitude apparente visuelle : 2,4. type spectral : K2. Distance •. 700 années de lumière.

ensemble de lancement. Partie d'une base de lancement comprenant les installations spécifiques destinées à la préparation, aux essais et au lancement d'un véhicule aérospatial.

Enterprise. Nom de l'orbiteur prototype de la navette spatiale américaine, dépourvu de moteurs et de bouclier thermique, qui a été utilisé en 1977 pour des essais dans l'atmosphère.

Entretiens sur la pluralité des mondes. Célèbre ouvrage de vulgarisation astronomique de l'écrivain français Bernard Le Bovier de Fontenelle, publié en 1686. L'auteur s'imagine à la campagne, après dîner, en compagnie d'une belle marquise à qui il présente les mécanismes de la nature, comparant le spectacle du cosmos à celui de l'Opéra.

enveloppe n.f. Couche gazeuse entourant un corps céleste, spécialement une étoile *(enveloppe drcumstellaire.).*

environnement spatial. Ensemble des agents et conditions physiques, chimiques et biologiques auxquels est soumis un engin spatial dans l'espace.

ENCYCL. Un engin spatial, durant son séjour dans l'espace, se trouve placé dans un environnement particulier qui se caractérise notamment par l'impesanteur, un vide poussé, des échanges thermiques essentiellement radiatifs et des écarts importants de température, la présence de rayonnements particulaires, de micrométéorites et de débris spatiaux.

Cet environnement impose de sévère contraintes à l'architecture des satellites. Le vide poussé provoque, par exemple, un dégazement, une évaporation et même une décomposition des matériaux avec, notamment, pour conséquence le grippage des système mécaniques. Les échanges thermiques, essentiellement radiatifs, et les importantes modifications thermiques liées aux variations d'ensoleillement (passages dans l'ombre de la Terre, écarts de température entre la face d'un satellite éclairée par le Soleil et sa face non éclairée) imposent un contrôle thermique rigoureux apte à maintenir les équipements embarqués dans des plages de température très strictement spécifiées. Les rayonnements particulaires (ions lourds du rayonnement cosmique et particules chargées piégées dans les ceintures de rayonnement) provoquent une dégradation des semi-conducteurs (d'où résulte, en particulier, une baisse progressive du rendement des générateurs solaires) et peuvent induire l'apparition de pannes dans certains composants, spécialement les composants fortement intégrés. L'oxygène atomique, résidu atmosphérique rencontré aux altitudes des orbites basses autour de la Terre, ainsi que

les micrométéorites* et les débris* spatiaux peuvent provoquer l'endommagement des surfaces.
La biologie* et la médecine* spatiales étudient les effets de l'environnement spatial sur les êtres vivants, en particulier sur l'organisme humain.

Envisat (acronyme de *ENVIronment SATellite,* satellite pour l'environnement). Plateforme européenne d'observation de la Terre à partir d'une orbite polaire.
ENCYCL. Développée dans le prolongement des satellites ERS*, la plate-forme Envisat est destinée à accroître le potentiel européen dans le domaine de l'observation de la Terre (étude de l'atmosphère, de l'océan et des glaces). Envisat 1, d'une masse de 8 t, emportera une deuxième génération d'instruments ayant déjà volé sur ERS, notamment un radar imageur de pointe et plusieurs instruments d'analyse de l'atmosphère. Son lancement est prévu en 2000.

Éole. Satellite météorologique expérimental français.
ENCYCL. Lancé, de la base de Wallops Island (Virginie), le 16 août 1971 par une fusée américaine Scout et placé sur une orbite de 903 km d'apogée et 678 km de périgée, d'une masse de 84 kg, stabilisé par gradient de gravité, il avait pour mission de localiser les répondeurs de 479 ballons lancés depuis trois stations situées en Argentine et dérivant dans l'atmosphère, à niveau constant (à 12 000 m d'altitude environ), de collecter les données recueillies par les capteurs de ces ballons et de retransmettre les informations météorologiques enregistrées vers les stations de télémesure implantées au sol. La dispersion progressive des ballons ayant entraîné sa disponibilité, le satellite fut ensuite utilisé pour des expériences complémentaires (localisation d'icebergs, de bouées dérivantes, de navires de la marine marchande, etc.).

épacte ni. (du grec *epaktai [hêmerai],* [jours] intercalaires). Âge de la lune au 1er janvier, en convenant d'appeler 0 son âge le jour où elle est nouvelle.
ENCYCL. L'épacte est un nombre qui peut, en principe, prendre toutes les valeurs de 0 à 29. Dans le calendrier* julien, l'épacte ne peut prendre que 19 valeurs correspondant aux 19 nombres* d'or du cycle de Méton*. Dans le calendrier grégorien, on utilise des épactes modifiées, pour tenir compte à la fois des années séculaires non bissextiles et de l'erreur propre du cycle de Méton, soit environ un jour tous les 300 ans. Les épactes grégoriennes ne sont donc plus invariablement liées au nombre d'or comme dans le calendrier julien.

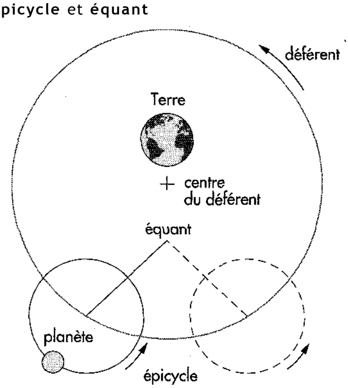
EPC (sigle d'Étage Principal Cryotechnique). Étage principal du lanceur Ariane* 5 propulsé par le moteur Vulcain*. Hauteur : 30,5 m, diamètre : 5,4 m, masse à vide : 12,41, masse d'ergols (hydrogène et oxygène liquides) transportés : environ 1561.
ENCYCL. Dix minutes après le décollage, à l'altitude de 140 km, cet étage est séparé du composite supérieur (L9). Ilpoursuit seul un vol balistique et retombe naturellement dans l'océan Pacifique dans des conditions assurant la sécurité des personnes et des biens.

éphémérides n.f.pl. Tables donnant de jour en jour, ou pour d'autres intervalles de temps, les valeurs calculées de diverses grandeurs astronomiques variables, telles que les coordonnées des planètes, de la Lune, du Soleil, etc.

Épi (l'). Nom français de l'étoile *Spica**.

épicycle n.m. Courbe décrite par un point fixé sur un cercle quand ce cercle roule sur un autre cercle fixe (*voir* figure). Les astronomes grecs de l'Antiquité tentèrent d'expli-

Épicycle et équant



quer par un système d'épicycles les trajectoires des planètes autour de la Terre.

Épiméthée. Satellite de Saturne n° XI, découvert en 1980 par une équipe d'astronomes dirigée par l'Américain R. Walker.
ENCYCL. Nom international : *Epimetheus.* Demi-grand axe de son orbite : 151 420 km. Période de révolution sidérale : 16 h 39 min. Dimensions : 140 x 120 x 100 km. Il décrit pratiquement la même orbite que le satellite Janus*. **coorbital**

époque ni. 1. Instant origine à partir duquel sont comptés les temps servant à définir la position d'un astre du système solaire sur son orbite. **2.** Date à laquelle sont rapportées les coordonnées d'un astre sur la sphère céleste ou les constantes astronomiques.
ENCYCL. Les équations du mouvement képlérien donnent la position de l'astre considéré à partir de son passage au périhélie*. Or, les directions des grands axes des orbites planétaires (et leurs plans eux-mêmes) sont sujettes à des perturbations*, petites, certes, mais non négligeables, et dont les effets sont cumulatifs. Pour étudier de façon continue le mouvement d'une planète sur son orbite, on fait choix d'un instant origine, que l'on appelle *l'époque,* et l'on précise la longitude édiptique moyenne à cet instant. On appelle cette quantité la *longitude de l'époque.*

EPS (sigle d'Étage à Propergol Stockable). Élément propulsif du composite supérieur du lanceur Ariane* 5.
ENCYCL. Propulsé par le moteur Aestus, il est assez proche du HM7 d'Ariane 4. Sa capacité est de 9,7 t d'ergols : peroxyde d'azote et monométhylamine. Il entre en action après la séparation de l'étage principal cryotechnique, dix minutes après le décollage, afin de donner à la charge utile là vitesse de satellisation. Pour les satellites géostationnaires, il fonctionne 1 100 secondes.

Equ. Abréviation de *Equuleus,* désignant la constellation du Petit Cheval.

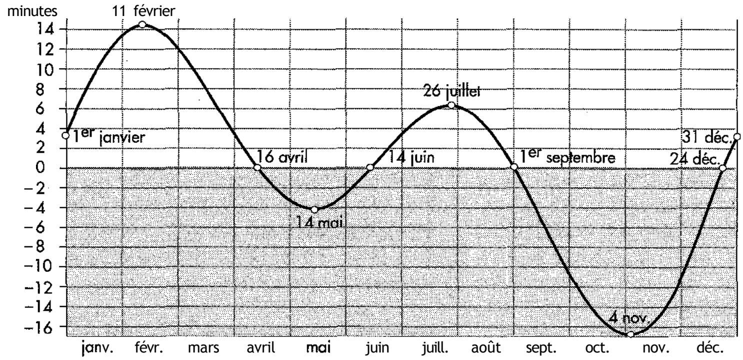
équant n.m. Dans le système du monde géocentrique de Ptolémée, point autour duquel se déplaçait, à vitesse angulaire constante, le centre de l'épicycle d'une planète et qui était situé à l'opposé du centre de la Terre par rapport au centre du déférent (*voir* schéma).

équateur n.m. 1. Ligne selon laquelle le plan contenant le centre de masse d'un astre en rotation (en particulier, la Terre), perpendiculaire à l'axe de rotation (ou axe des pôles), coupe la surface de cet astre. 2. Intersection du plan de l'équateur terrestre avec la sphère céleste. On dit aussi *équateur céleste.*
ENCYCL. L'équateur terrestre est l'un des deux plans de référence choisis pour la définition des coordonnées géographiques d'un point de la surface terrestre : latitude et longitude. De même, l'équateur céleste est l'un des deux plans de référence choisis pour la définition des coordonnées équatoriales d'un astre sur la sphère céleste : ascension droite (équivalent de la longitude) et déclinaison (équivalent de la latitude).

équation annuelle. Irrégularité du mouvement de la Lune, de période annuelle, introduite par le Soleil.

équation du temps. Différence entre le temps solaire moyen et le temps solaire vrai.
ENCYCL. Si l'on désigne par T_m le temps solaire moyen, et T_v le temps solaire vrai, l'équation du temps E s'exprime par la relation : $E = T_m - T_v$. Au cours de l'année, elle oscille autour de la valeur 0, mais de manière non sinusoïdale (*voir* schéma) ; elle vaut 4 minutes environ au 1er janvier ; elle atteint 14 min 15 s (sa valeur maximale) le 11 février, s'annule le 16 avril, devient négative, égale - 3 min 41 s le 14 mai, s'annule le 14 juin, atteint 6 min 30 s le 26 juillet, s'annule au 1er septembre, atteint - 16 min 25 s (sa valeur minimale) le 4 novembre, pour redevenir nulle le 24 décembre.
À ces variations correspondent celles de l'heure de passage du Soleil au méridien d'un lieu (midi vrai). L'équation du temps résulte de l'addition de deux effets : celui dû à l'excentricité de l'orbite de la Terre autour du Soleil et celui dû à l'inclinaison de l'axe des pôles par rapport à la perpendiculaire au plan de l'orbite terrestre.

Équation du temps au cours de l'année



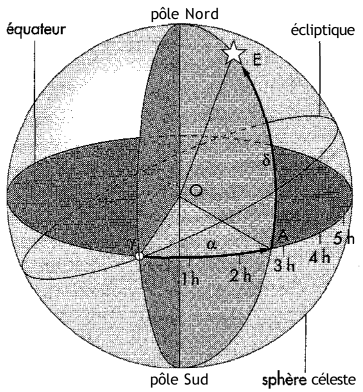
équation ni. En mécanique céleste, quantité dont il faut modifier la position d'un corps céleste pour la ramener à ce qu'elle serait si ce corps était animé d'un mouvement circulaire uniforme.

équation personnelle. Erreur systématique imputable à l'auteur d'une série d'observations astronomiques.

équatoriai, e, aux adj. Relatif à l'équateur ; situé à l'équateur (terrestre, céleste ou d'un astre quelconque). *Coordonnées équatoriales :* coordonnées sphériques dans un système direct dont le plan fondamental est le plan de l'équateur. La direction origine est celle du point vernal* ; le pôle positif, ou pôle nord, de ce système et le pôle Nord terrestre sont situés du même côté du plan équatoriai. Les coordonnées équatoriales sont l'ascension* droite et la déclinaison* : *voir* schéma ci-contre. *Monture équatoriale :* dispositif permettant de faire tourner un instrument astronomique autour de deux axes perpendiculaires, dont l'un, dit « axe horaire », est parallèle à l'axe du monde.

ENCYCL. L'intérêt majeur de ce dispositif est de permettre, par une rotation de l'instrument autour de son axe horaire à une vitesse appropriée, de compenser exactement le mouvement diurne et ainsi de suivre, dans leur déplacement, les astres visés. Ceux-ci, restant fixes dans le champ, peuvent alors être photographiés avec de longues poses. *Table équatoriale :* support plan, à monture équatoriale, sur lequel peuvent être fixés différents instruments d'observation ou appareils de mesure.

Coordonnées équatoriales



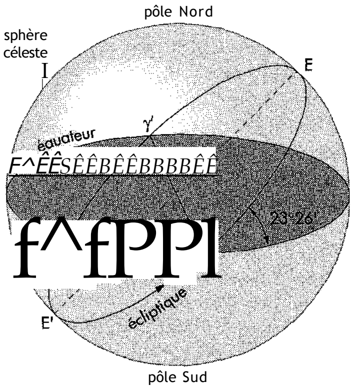
a = ascension droite de l'étoile E
5 = déclinaison de l'étoile E
y = point vernal

équilibre n.m. Situation physique telle que les forces qui tendent à la faire évoluer se compensent mutuellement. En astronomie, des systèmes comme les étoiles, dont l'évolution est très lente, peuvent être considérés comme en équilibre. *Équilibre hydrostatique ;* état d'équilibre (d'une atmosphère stellaire, en particulier) dans lequel la force de gravitation est compensée par la force de pression. *Équilibre radiatif:* état d'équilibre d'un milieu dans lequel toute l'énergie est transportée par rayonnement. *Équilibre thermodynamique :* état d'équilibre dans lequel la distribution statistique des atomes à diffé-

rents niveaux d'excitation est constante (toutes les propriétés physiques du milieu sont commandées par la température, qui est constante ; le rayonnement suit la loi du corps noir, ou loi de Planck).
ENCYCL. L'énergie apportée par rayonnement est évacuée par rayonnement : le flux total est constant. Cette hypothèse est valable, en première approximation, pour la plupart des étoiles. On doit, en seconde approximation, tenir compte du transfert d'énergie par convection.

équinoxe n.m. du latin *aequus,* égal, et *nox, noctis,* nuit). 1. Époque de l'année (se reproduisant à six mois d'intervalle) où le Soleil, dans son mouvement propre apparent sur l'écliptique, traverse l'équateur céleste, et qui correspond à l'égalité de durée des jours et des nuits. **2.** Synonyme de point vernal*. *Ligne des équinoxes* ; droite d'intersection des deux plans de l'écliptique et de l'équateur céleste.
ENCYCL. Les deux plans de l'écliptique* et de l'équateur céleste* se coupent suivant une ligne yy' (*voir* schéma). Le point *y,* correspondant au passage du Soleil de l'hémisphère céleste austral dans l'hémisphère céleste boréal, est dit *équinoxe de printemps, ou point vernal;* le point *y',* correspondant au passage du Soleil de l'hémisphère céleste boréal dans l'hémisphère *céleste austral, est* dit *équinoxe d'automne.* Dans le calendrier* grégorien, le Soleil passe par le point (le 20 ou le 21 mars tous les ans. C'est le début du printemps. La ligne EE' de l'écliptique perpendiculaire à *yy' est* dite *ligne des solstices*.* Les arcs successifs yE, Ey', yE' et E' (sont parcourus par le Soleil au cours des quatre saisons* du printemps, de l'été, de l'automne et de l'hiver, saisons légèrement inégales entre elles. L'égalité des jours et des nuits, le jour de l'équinoxe, est valable pour tous les points de la Terre, quelle que soit la latitude. Du fait de la précession* de l'axe des pôles terrestres, le point vernal n'est pas fixe, mais rétrograde lentement sur l'écliptique.

Équinoxes



équinoxial, e, aux adj. Relatif à l'équinoxe. *Cadran équinoxial :* cadran solaire tracé dans un plan parallèle à l'équateur. *Point équinoxial d'automne :* synonyme de point automnal*. *Point équinoxial de printemps :* synonyme de point vernal*.

équipementier n.m. Société industrielle assurant la fabrication du matériel nécessaire au fonctionnement d'un engin spatial (à l'exception du groupe propulsif et des éléments de structure).

Equuleus (-i). Nom latin de la constellation du Petit Cheval (abrév. *Equ).*

ERA (sigle de *European Robotic Arm,* bras *robotique européen). Bras* télémanipulateur que l'Agence spatiale européenne fournira à l'Agence spatiale russe et qui constituera un outil essentiel pour l'assemblage du segment russe de la Station* spatiale internationale.
ENCYCL. L'ERA est un bras télémanipulateur symétrique de 10 m de longueur. À chaque extrémité, on trouve un organe phéhenseur identique. Son utilisation alternée en tant que « main » et « pied » permet au bras de se déplacer d'un point d'accrochage à un autre. Ces organes sont conçus pour saisir et relâcher des charges utiles équipées d'un dispositif standard d'accrochage, pour mesurer des forces et des couples et pour transmettre des signaux électriques, de données et de vidéo aux charges utiles qu'ils ont saisies. Pour les interventions mécaniques, les organes préhenseurs sont équipés d'un outil de service intégré que l'on pourrait comparer à un tournevis. Associé à une plate-forme équipée de cale-pieds et de mains courantes,

FERA peut également servir à transporter des astronautes lors des sorties extravéhiculaires.

L'ERA sera en principe mis en œuvre à partir d'un dispositif d'accrochage monté sur une petite plate-forme mobile qui, tel un chariot, se déplacera sur des rails le long de la structure de la plate-forme russe scientifique et d'énergie. En se déplaçant d'un point d'accrochage à un autre monté sur d'autres éléments de la Station, l'ERA élargit sa zone d'intervention.

Des caméras et des dispositifs d'éclairage montés sur le bras et sur les deux organes préhenseurs permettent de surveiËer le chantier et d'inspecter l'extérieure de la Station.

L'ERA a été conçu pour, en un premier temps, être directement commandé par un astronaute en activité extravéhiculaire ; à un stade ultérieur, il pourra être télécommandé de l'intérieur de la Station. Toutes les tâches de l'ERA sont préprogrammées dans son calculateur intégré de telle façon qu'il suffit aux astronautes de lancer les tâches et de conserver le contrôle visuel des travaux ainsi effectués.

L'ERA apportera son soutien à l'équipage de la Station pendant l'assemblage et la desserte extérieure du segment russe. Pendant cette phase d'assemblage, l'ERA servira à monter les panneaux solaires et les ensembles propulseurs et à installer les radiateurs thermiques de la plate-forme scientifique et d'énergie. On pourrait également l'utiliser pour transférer et mettre en place des modules entiers. Lorsque l'assemblage de la Station sera terminé, l'ERA servira à remplacer les panneaux solaires et les ensembles propulseurs, manipuler des charges utiles extérieures et procéder à des inspections sur le segment russe de la Station.

La Russie et l'Europe se chargeront, en étroite collaboration, de l'assemblage, du lancement, de l'instaËation, de la validation et de l'exploitation de l'ERA.

Ératosthène, astronome, géographe, mathématicien et philosophe grec (Cyrène v. 284 - Alexandrie v. 192). Il séjourna à Athènes puis à Alexandrie, dont il dirigea la fameuse bibliothèque. Il fut le premier à évaluer correctement la longueur de la circonférence de la Terre. Pour cela, il détermina de façon très ingénieuse l'amplitude de l'arc méridien entre Syène et Alexandrie : ayant appris qu'au solstice d'été le Soleil, à Syène, était à la verticale dans le ciel, puisque ses rayons pénétraient dans les puits les plus profonds, il mesura lui-même, à l'aide de l'ombre projetée par un gnomon, l'angle formé à Alexandrie par les rayons solaires, le jour du solstice d'été, avec la verticale. L'angle ainsi mesuré correspondait exactement à l'angle formé au centre de la Terre par le rayon terrestre de Syène et celui d'Alexandrie, et donnait l'amplitude de l'arc intersecté par ces deux villes surle méridien. Puis il mesura sur le terrain la dimension de cet arc. Il obtint pour la circonférence entière, c'est-à-dire pour le méridien : 252 000 stades, soit près de 40 000 km.

Ératosthène. Cratère lunaire, à l'extrémité sud-ouest des Apennins.

ENCYCL. Coordonnées : 11° O., 14° N. Diamètre : 60 km. Nom international : *Eratosthenes.* Il est entouré d'une énorme muraille à terrasses et présente une élévation centrale. Sa profondeur est de 3 500 m environ.

ère n.f. 1. Point de départ d'une chronologie particulière. **2.** Période écoulée depuis cette origine : ère chrétienne, ère julienne.

ergol n.m. Substance utilisée pour alimenter un moteur-fusée et lui fournir son énergie propulsive.

ENCYCL. C'est le plus souvent en faisant réagir l'un sur l'autre deux ergols que sont obtenues la réaction chimique exothermique et l'éjection de gaz recherchées. Un tel couple porte le nom de propergol.

Selon leur rôle dans la réaction, on distingue deux catégories d'ergols : les comburants, qui sont des substances oxydantes, comme l'oxygène, le peroxyde d'azote, l'acide nitrique, le perchlorate d'ammonium, etc. ; et les combustibles, qui sont des substances réductrices, comme l'hydrogène, le kérosène, l'hydrazine, la diméthylhydrazine dissymétrique (UDMH), l'aluminium, etc. Une autre classification considère l'état physique de l'ergol : celui-ci peut être solide, liquide ou gazeux.

La température de stockage permet de distinguer :
- les ergols stockables, stables chimiquement, pouvant être conservés dans des réservoirs à pression modérée entre - 50 et + 70 °C. Tel est le cas des ergols solides et, pour les liquides, du peroxyde d'azote, du méthane, du kérosène et de l'UDMH, entre autres ;
- les ergols cryotechniques. qui doivent être stockés à très basse température (par exemple l'hydrogène et l'oxygène liquides) et dont la production et le stockage relèvent de la cryotechnique.

Pour des missions de longue durée, la notion d'ergol stockable dans l'espace a été introduite : la température d'ébullition (au niveau de la mer) doit être supérieure à - 150 °C.

ergolier n.m. Technicien chargé de la manipulation des ergols sur une base spatiale.

Eri. Abréviation de *Eridanus,* désignant la constellation de l'Éridan.

Éridan (en latin *Eridanus, -î).* Constellation australe, qui porte le nom donné au Pô par les Grecs dans l'Antiquité.

ENCYCL. Éridan serpente sur la sphère céleste entre l'équateur et 58° de latitude Sud, atteignant sa plus grande largeur entre les constellations du Lièvre et de la Baleine. Elle est dessinée par une ligne sinueuse d'étoiles, la plupart de magnitude 3 à 4, partant du voisinage de Rigel* (P Orion) au nord pour s'achever par l'étoile la plus brillante de la constellation, Achernar*, au sud. L'étoile *e Eridani,* située à 10,7 années de lumière, possède un compagnon planétaire dont la masse serait comprise entre 6 et 50 fois celle de Jupiter, et la période de révolution, voisine de 25 ans. En 1960, le radiotélescope de Green Bank (Virginie-Occidentale) a été braqué pendant plusieurs semaines dans la direction de cette étoile, dans l'espoir de capter des signaux émis par une civilisation extraterrestre, à 21 cm de longueur d'onde, mais cette tentative s'est soldée par un échec.

Eridanus (-i). Nom latin de la constellation de l'Éridan (abrév. *En).*

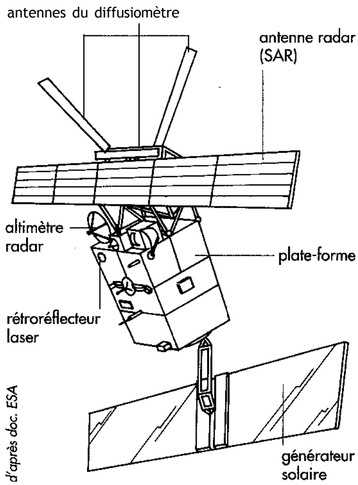
Éros. Astéroïde 433, du type Amor*, découvert par Witt, à Berlin et Charlois, à Nice, en 1898.

ENCYCL. Éros décrit en 643 jours (1,76 an) une orbite inclinée de 10,8° sur l'écliptique et dont l'excentricité atteint 0,223. Au périhélie, il s'approche à 169,5 millions de kilomètres du Soleil ; à l'aphélie, il en est distant de 267 millions. Dans les conditions les plus favorables (oppositions périhéliques), il peut passer à quelque 22 millions de kilomètres seulement de la Terre. Un tel rapprochement a eu lieu en 1975 et se reproduira en *2056.* Diverses mesures photométriques, polarimétriques ou au radar ont permis d'établir que cette petite planète est un corps allongé d'environ 33 x 13 x 13 km, et qu'elle tourne sur elle-même autour de son petit axe en 5 h 16 min 13,4 s. Elle serait principalement constituée de fer natif et de silicates ferromagnésiens ; sa surface semble recouverte d'une couche de poussière finement pulvérisée. Les oppositions d'Éros sont mises à profit pour déterminer avec une grande précision la parallaxe du Soleil et, par la suite, la distance de la Terre au Soleil, ainsi que la masse du système Terre-Lune. On attend son étude rapprochée par la sonde Near* en l'an 2000.

ERS (sigle de *European Remote sensing Satellite).* Programme européen d'observation de la Terre par satellite.

ENCYCL. Il comprend deux sateËites lancés par des fusées Ariane, ERS 1 en 1991 et ERS 2 en 1995, qui décrivent une orbite polaire héliosynchrone à 780 km d'altitude environ. Pesant 2,4 t, ceux-ci comportent une plateforme dérivée de celle des satellites français SPOT, qui supporte plusieurs instruments' scientifiques parmi lesquels un radar à synthèse d'ouverture, un altimètre radar, un radiomètre à balayage et un rétroréHecteur laser permettant des observations permanentes, par tous les temps, des océans, des terres émergées et des glaces polaires ainsi que des mesures de géodésie spatiale. Les données recueillies favorisent une meilleure compréhension des interactions entre l'atmosphère et les océans, une surveillance de la végétation, des glaces polaires, de la pollution des côtes, etc. ; elles permettent de mieux apprécier l'impact des activités hu-

Satellite européen d'observation de la Terre ERS



maines sur l'environnement de la Terre et d'affiner les modèles d'évolution future du climat.

éruption (solaire). Brusque décharge d'énergie, associée le plus souvent aux régions actives du Soleil, qui provoque localement dans la chromosphère et la couronne des perturbations importantes.
ENCYCL. Une éruption se manifeste par un accroissement brusque de brillance, d'une durée de quelques minutes à quelques heures, dans une région limitée de la chromosphère située le plus souvent au voisinage des taches solaires, qui affecte les raies d'émission chromosphériques, telle la raie H (de l'hydrogène (6 563 A), et plus généralement tout le domaine spectral allant des rayons X aux ondes radioélectriques. L'énorme quantité d'énergie (de l'ordre de 10^{32} ergs) libérée au cours des éruptions les plus importantes est la source d'une éjection de particules rapides (photons, électrons) qui, transitant par la couronne, peuvent atteindre l'atmosphère terrestre. Durant la phase impulsive de l'éruption, avant le maximum d'éclat, la matière chromosphérique peut être éjectée dans la couronne jusqu'à des hauteurs considérables à des vitesses de 200 000 km/s. Au niveau de l'atmosphère terrestre, les éruptions solaires se traduisent le plus souvent par deux sortes de perturbations : 1° une perturbation instantanée (à quelques minutes près) des communications radiotélégraphiques, surtout à courtes longueurs d'onde, et un léger crochet sur les appareils enregistrant de façon continue les éléments magnétiques ; 2° un orage magnétique et des aurores polaires, se manifestant avec un début brusque, mais avec un décalage de l'ordre de 26 heures. Ce retard est dû au temps mis par les particules chassées du Soleil au moment de l'éruption pour atteindre la Terre (vitesse 1 500 km/s environ). L'importance des éruptions chromosphériques a conduit les astronomes à organiser un service international permanent d'observation solaire.

ESA (sigle de *European Space Agency)*
-> Agence spatiale européenne

Esdangon (Ernest Benjamin), astronome et physicien français (Mison, Basses-Alpes, 1876 - Eyrenville, Dordogne, 1954).
Directeur de l'Observatoire de Paris de 1929 à 1944, il réalisa l'horloge parlante de l'Observatoire, mise en service public le 14 février 1933.

Esnault-Pelterie (Robert), ingénieur, aviateur et précurseur de l'astronautique français (Paris 1881-Nice 1957).
Il se distingua dans le domaine de l'aviation comme constructeur de monoplans robustes et sûrs et comme auteur de nombreuses inventions, parmi lesquelles le moteur en étoile (qui resta, jusqu'à l'avènement du turboréacteur, le propulseur le plus utilisé en aviation) et le dispositif de commande appelé *manche à balai.* C'est en 1907 qu'il commença à s'intéresser à la théorie de la propulsion par réaction et aux possibilités offertes par la fusée pour les voyages interplanétaires, dont il devint ensuite un ardent propagandiste.
En 1912, il prononça à Saint-Pétersbourg puis à Paris, devant la Société française de physique, une conférence restée célèbre intitulée *Considérations sur les résultats d'un allégement indéfini des moteurs,* titre allusif au fait qu'une fusée, au fur et à mesure qu'elle consomme ses réserves de propergol, ne cesse de perdre une partie de sa masse.

Après la Première Guerre mondiale, il fonda, avec son ami le banquier André-Louis Hirsch, un prix de 5 000 F destiné à être décerné annuellement à l'auteur du travail le plus remarquable en matière d'astronautique. Ce prix, intitulé REP-Hirsch (REP pour Robert Esnault-Pelterie), fut attribué pour la première fois en 1925, à Hermann Oberth, considéré si digne de le recevoir que son montant fut porté à 10 000 F pour la circonstance. Le 8 juin 1927, il prononça une autre conférence célèbre, cette fois devant la Société astronomique de France, pour entretenir les astronomes (professionnels et amateurs) de ses nouvelles recherches théoriques en astronautique.
Le texte de cet exposé a été publié par la SAF sous le titre *l'Exploration par fusées de la très haute atmosphère et la possibilité des voyages interplanétaires.*

Mais sa plus importante contribution à l'astronautique a été la publication, en 1930, de son ouvrage *l'Astronautique,* qui, après l'inclusion d'un supplément en 1934, couvrait pratiquement l'ensemble des connaissances de l'époque en matière de vol spatial. Il y envisage, en particulier, la possibilité de ce que l'on appelle aujourd'hui la navigation par inertie et en décrit les modalités.
Jusqu'à la Seconde Guerre mondiale, il effectua aussi des essais de mise au point de moteurs-fusées à ergols liquides. Il fut élu à l'Académie des sciences en 1936.

ESO. Sigle de *European Southern Observatory.*

ESOC (sigle de *European Space Opérations Centre,* Centre européen d'opérations spatiales). Établissement de l'Agence spatiale *européenne, situé* à Darmstadt (Allemagne), responsable de l'exploitation des satellites de l'Agence.
ENCYCL. Avant le lancement d'un satellite, le rôle des spécialistes du Centre consiste principalement à analyser les impératifs de la mission pour déterminer l'orbite, à calculer les fenêtres de lancement et à préparer la composante sol. Après le lancement, ils assurent, outre les opérations de poursuite et de télécommande, la réception, le traitement et la diffusion des données du satellite et de sa charge utile.
Le Centre de contrôle des opérations est relié en permanence, via le réseau de télécommunications de l'ESOC, à l'ESTRACK, réseau mondial de stations de télécommande-télémesure. L'un des éléments les plus importants du Centre de contrôle des opérations est le Centre de calcul, dénommé Système de soutien multisatellites. Utilisé pendant les phases du lancement et des premières opérations en orbite, il assure également un soutien pour les phases de routine des missions qui ne nécessitent pas d'installations de calcul spécifiques.
Ce système peut traiter simultanément des données provenant de six satellites différents ; il peut en outre émettre des télécommandes en temps réel et commande les affichages dans la salle de contrôle.

espace n.m. **1.** Domaine situé au-delà de la partie de l'atmosphère terrestre où peuvent évoluer les aéronefs. En droit international, on parle *d'espace extra-atmosphérique,* par opposition à *l'espace aérien.* 2. Ensemble des activités industrielles ou de recherche se rapportant à ce domaine.
ENCYCL. L'ère de la conquête de l'espace s'est ouverte le 4 octobre 1957 avec le lancement et la mise sur orbite, par l'URSS, du premier satellite artificiel de la Terre, Spoutnik 1. Depuis lors, près de 4 000 satellites ont été lancés, par neuf puissances* spatiales. Les États-Unis, la CEI (ex-URSS), l'Europe, Je Japon et la Chine représentent les cinq principaux centres d'activité spatiale mondiale. Cette activité spatiale est financée pour l'essentiel par les budgets publics, civils et militaires, et les facteurs politiques sont déterminants dans ses perspectives de développement.

Quatre justifications politiques principales sont généralement données au financement public dans le domaine de l'espace :
- le prestige national lié à la conquête de l'espace, qui, par son aspect de démonstration publique, visible de tous, constitue un domaine particulièrement favorable à l'affrontement technologique pacifique entre nations et à la démonstration politique d'un certain niveau de développement sur la scène internationale ;
- le soutien à la science et à la technologie ;
- le développement d'applications civiles,

essentiellement les télécommunications et l'observation de la Terre, et les enjeux industriels et commerciaux importants qui y sont liés ;
- les applications militaires, en croissance extrêmement rapide en raison du rôle déterminant pris par la technologie spatiale dans les problèmes de défense.
Les principaux enjeux économiques, industriels et commerciaux du développement des programmes spatiaux pour les prochaines années concernent l'espace militaire, les télécommunications spatiales, l'observation de la Terre et les systèmes de lancement.

espace-temps n.m. Concept d'un domaine multidimensionnel dans lequel il est possible de localiser les événements et de décrire leurs relations mutuelles à l'aide de coordonnées d'espace et de temps.
ENCYCL. Ce concept dérive de l'observation de l'invariance de la vitesse de la lumière, quel que soit le mouvement de la source qui émet celle-ci ou celui de l'observateur. L'espace-temps permet à tous les observateurs présents dans l'Univers de décrire la réalité indépendamment de leur mouvement relatif. Selon la théorie de la relativité* générale, la gravitation est une courbure de l'espace-temps.

espionnage par satellite(s). Utilisation de satellites à des fins militaires comme instruments d'observation (optique ou radar), de détection radar, d'écoute électronique, de détection d'explosions nucléaires ou d'alerte et de détection de lancement de missiles adverses. **alerte avancée, écoute électronique, reconnaissance photographique, surveillance par satellite**

Esrange (acronyme de *European Space research RANGE)*. Base de lancement de ballons et de fusées-sondes installée par l'ESRO* et mise en service en 1996 à 40 km de Kiruna, en Suède du Nord, au-delà du cercle arctique.
ENCYCL. Propriété de l'ESRO jusqu'en juillet 1972, elle est exploitée depuis par la Swedish Space Corporation (SSC), qui projette d'y construire une infrastructure pour le lancement de petits satellites en orbite polaire.

Esrin (acronyme *de European Space Research INstitute,* Institut européen de recherches spatiales). Établissement fournisseur d'informations de l'Agence spatiale européenne, situé à Frascati, près de Rome, dans les locaux précédemment occupés par l'Institut européen de recherches spatiales (disparu au début des années 70), dont il a conservé la dénomination.

ESRO (sigle de *European Space Research Organization)*. Ancienne organisation spatiale européenne, dont le sigle français était CERS (Conseil européen de recherches spatiales).
ENCYCL. Créée en 1962 et mise en place en 1964, avec comme objectif la réalisation de satellites scientifiques, l'ESRO eut beaucoup plus de succès dans son entreprise que l'autre organisme spatial européen fondé à la même époque, l'ELDO*. En décembre 1972, face aux déboires de l'ELDO, fut décidée la fusion de cet organisme avec l'ESRO en une nouvelle organisation, l'ESA, qui a été créée en 1975.

ESRO (sigle de *European Space Research Organization)*. Nom donné aux premiers satellites mis au point par l'ESRO.
ENCYCL. Trois ont été placés sur orbite, par des fusées américaines Scout : ESRO-2B (80 kg), le 17 mai 1968 ; ESRO-1A (86 kg), le 3 octobre 1968; et ESRO-1B (86 kg), le 1er octobre 1969. Ils étaient destinés à des recherches sur le géomagnétisme et l'ionosphère.

ESSA (sigle de *Environmental Science Services Administration)*. Administration américaine ayant précédé la NOAA* et sous la responsabilité de laquelle furent lancés avec succès, entre 1966 et 1969, neuf satellites météorologiques constituant la première génération de TIROS* opérationnels.
ENCYCL. Les satellites ESSA fournirent, pour la première fois, de manière continue, des données météorologiques à l'échelle de la Terre entière. Ils fonctionnaient par paires, l'un fournissant des renseignements météorologiques généraux, l'autre des images en temps réel. ESSA 8, lancé le 15 décembre 1968, fonctionna jusqu'en mars 1976.

essaim n.m. Ensemble groupé de météorites qui décrivent autour du Soleil des orbites très voisines, souvent associées à celle d'une comète périodique, et dont la rencontre avec la Terre peut donner lieu à une averse météorique (pluie d'étoiles filantes).

Estec (abréviation de *European Space research and TEchnology Centre,* Centre européen de recherche et de technologie spatiales). Principal établissement technique de l'Agence spatiale européenne, situé à Noordwijk (Pays-Bas).
ENCYCL. En 1962, alors que l'Europe spatiale fait ses premiers pas, le besoin se fait sentir d'un centre spécifiquement conçu pour les aspects techniques de ce nouveau domaine de la recherche. Le choix se porte sur les Pays-Bas et les pionniers s'installent dans des locaux de l'université de Delft. La construction d'un véritable centre technique est entreprise en 1965, à Noordwijk, à 20 km au nord de La Haye, sur le rivage de la mer du Nord. Il est inauguré le 3 avril 1968 : près de 500 personnes y travaillent. C'est alors le plus important centre européen de technique spatiale.

Aujourd'hui, l'établissement s'étend sur environ 50 hectares et emploie un millier de personnes dont les deux tiers appartiennent à l'ESA. Il est doté d'une grande diversité de laboratoires, d'appareils de mesure et de moyens d'essais importants (pour des tests thermiques, mécaniques, acoustiques, etc.) utilisés pour la conception, l'intégration et la vérification des véhicules spatiaux, en collaboration avec l'industrie et la communauté scientifique. Il est également chargé de travaux de recherche appliquée en technologie spatiale.

L'Estec a conçu la plupart des satellites européens ainsi que des éléments du lanceur Ariane et du laboratoire Spacelab. Nombre de ses installations ont été modernisées et agrandies pour pouvoir accueillir les véhicules spatiaux actuels : Ariane 5, Columbus, Envisat, etc.

Un de ses équipements les plus spectaculaires, le grand simulateur spatial, abrite le plus grand et le plus puissant « soleil artificiel » du monde : un faisceau lumineux de 6 m de diamètre et d'une intensité d'environ 1 800 W/m^2 créé par dix-neuf lampes au xénon de 25 kW chacune.

étage n.m. Partie autonome et séparable d'un véhicule spatial, généralement dotée de moyens de propulsion et assurant certaines fonctions pendant une phase donnée du vol.

Etamin. Étoile γ du Dragon. Magnitude apparente visuelle : 2,2. Type spectral : K5. Distance : 150 années de lumière.

état stationnaire (théorie de l'). Théorie cosmologique proposée en 1948 par les astrophysiciens Thomas Gold, Herman Bondi et Fred Hoyle, selon laquelle l'Univers conserverait globalement le même aspect pour tous les observateurs, à toutes les époques. Rivale de la théorie du Big* Bang dans les années 50, la thèse de l'état stationnaire est contredite par diverses observations, et la découverte, en 1965, du rayonnement thermique du fond du ciel lui a porté un coup fatal.

étoile de Bethléem, des Mages ou **de Noël -» Mages (étoile des)**

étoile filante. Synonyme de météore.

étoile n.f. Sphère de gaz très chauds, au cœur de laquelle se produisent des réactions de fusion nucléaire qui en font une source de lumière et de chaleur.
ENCYCL. Les étoiles forment avec la matière interstellaire* le matériau constitutif des galaxies*. L'étoile la plus proche et la mieux connue est le Soleil*. De la Terre, on peut voir à l'œil nu quelque 6 000 étoiles sur l'ensemble du ciel ; toutes appartiennent à la Galaxie, dans laquelle est inclus le système solaire. -* **constellation, distance, magnitude, parallaxe, spectre**
ÉVOLUTION STELLAIRE. Les étoiles naissent de la contraction de vastes nuages de matière interstellaire, les nébuleuses*. Cette contraction s'accompagne d'une élévation de température. Lorsque leur température devient suffisante (~10 millions de degrés), des réactions thermonucléaires s'amorcent dans leurs régions centrales et leur permettent de

rayonner. L'évolution des étoiles comporte une succession de périodes durant lesquelles elles se contractent sous l'effet de la gravitation : la matière qui les constitue subit ainsi un échauffement de plus en plus intense, qui autorise le déclenchement de réactions nucléaires entre éléments de plus en plus lourds. Pendant la majeure partie de leur vie, les étoiles tirent leur énergie de la transformation d'hydrogène en hélium (cas du Soleil actuel). Aussi observe-t-on de nombreuses étoiles à ce stade de leur évolution. Plus une étoile est massive, plus son hydrogène sera brûlé rapidement, cette phase pouvant durer de quelques millions à plus de 10 milliards d'années. En revanche, il existe des étoiles de faible masse, appelées *naines* brunes,* où la combustion de l'hydrogène ne parvient jamais à s'amorcer faute d'une masse et, donc, d'une température suffisantes.

Lorsque l'hydrogène s'épuise au cœur de l'étoile, celui-ci se contracte, permettant ainsi à l'hydrogène de brûler sur des couches moins profondes pendant que l'enveloppe stellaire se dilate : c'est la phase dite de *géante rouge.* Le Soleil atteindra ce stade dans quelque 5 milliards d'années. Son rayon aura alors centuplé, et la Terre sera devenue une fournaise. Après la combustion de l'hélium en couches, de nouvelles réactions nucléaires se déclenchent au cœur de l'étoile. Celle-ci connaît une phase d'instabilité, puis un destin lié à sa masse.

Si l'étoile est peu massive (de masse inférieure à 1,4 fois celle du Soleil), elle subit une ultime contraction qui la transforme en ce qu'on appelle une *naine* blanche.* Celle-ci s'éteint ensuite lentement. Si l'étoile est massive, elle explose complètement et devient 10 à 100 millions de fois plus brillante (supernova*) avant de décliner inexorablement. Seul subsiste son cœur très dense, qui se contracte ensuite pour donner une étoile à neutrons* (si la masse est comprise entre 1,4 et 3 fois environ celle du Soleil) ou un trou* noir (si la masse est supérieure à 3 fois celle du Soleil). La matière de l'étoile éjectée lors de l'explosion forme une nébuleuse en expansion (reste de supemova) qui se disperse progressivement dans l'espace.

La plus jeune protoétoile connue serait une source de rayonnement millimétrique identifiée en 1993 dans le nuage moléculaire Rho Ophiuchi* par une équipe franco-britannique. Associée à la radio source VLA 1623, elle aurait moins de 10 000 ans.

LUMINOSITÉ, DIMENSIONS. D'après leur luminosité, on distingue 3 grandes familles d'étoiles :

- les supergéantes (10 000 fois environ plus lumineuses que le Soleil) ;
- les géantes (100 fois environ plus lumineuses que le Soleil) ;
- les naines (de luminosité comparable ou inférieure à celle du Soleil).

À ces différences de luminosité correspondent des différences de dimensions. Les étoiles les plus volumineuses sont les supergéantes rouges (environ 1 000 fois le rayon du Soleil) et les géantes rouges (environ 100 fois le rayon du Soleil). Les naines regroupent aussi bien les étoiles alimentées en énergie par la fusion de leur hydrogène en hélium, comme le Soleil (environ 700 000 km de rayon), que des étoiles parvenues au terme de leur évolution, comme les naines blanches (environ 5 000 km de rayon) et les étoiles à neutrons (environ 10 km de rayon). La plus grosse étoile connue est (du Cocher, dont le diamètre atteint 2 700 fois celui du Soleil : si elle se trouvait au centre du système solaire, elle engloberait toutes les planètes jusqu'à Saturne.

L'éclat d'une étoile s'exprime par une grandeur appelée *magnitude*.* Cet éclat, tel qu'on le perçoit de la Terre, dépend à la fois de la luminosité intrinsèque de l'étoile et de sa distance (*voir* tableau des étoiles les plus brillantes).

MASSE. Il existe dans l'espace un très grand. nombre d'étoiles multiples, et plus spéciale ment d'étoiles doubles dont les composantes gravitent l'une et l'autre autour de leur centre de gravité commun, selon la loi de l'attraction universelle, comme le fait une planète autour du Soleil. En interprétant à l'aide des lois de la mécanique les paramètres observés des mouvements de chacune des composantes, on arrive à déterminer les masses de chacune des étoiles du couple.

11 existe aussi un moyen indirect d'accéder à la connaissance des masses stellaires. En 1924, I'astrophysicien britannique A.S. Eddington a montré que la luminosité d'une étoile varie en fonction de sa masse, les étoi-

LES 25 ÉTOILES LES PLUS BRILLANTES À L'ŒIL NU

Nom usuel	Nom inter-national	Constellation	Magnitude visuelle apparente	Magnitude visuelle absolue	Type spectral	Distance en années de lumière®
Sirius	a CMa	le Grand Chien	- M	+ 1,41	Al	8,6
Canopus	a Car	la Carène	-0,7	+ 0,16	F0	300
Arcturus	a Boo	le Bouvier	-0,06	-0,2	K2	37
Rigil Kentarus	a Cen	le Centaure	+ 0,01	+ 4,3	G2	4,4
Véga	aLyr	la Lyre	+ 0,04	+ 0,5	A0	25,3
Capella	a Aur	le Cocher	+ 0,1	-0,6	G8	42
Rigel	POri	Orion	+ 0,2	-7,0	B8	800
Procyon	a CMi	le Petit Chien	+ 0,4	+ 2,65	F5	11,4
Achenar	a Eri	l'Éridan	+ 0,5	-2,2	B5	140
Bételgeuse	a Ori	Orion	+ 0,5*	-6,0	M2	400
Agena	P Cen	le Centaure	+ 0,6	-5,0	B1	500
Altaïr	a Aql	l'Aigle	+ 0,7	+ 2,3	*Kl*	17
Acrux	a Cru	la Croix du Sud	+ 0,8	-3,5	B2	400
Aldébaran	a Tau	le Taureau	+ 0,8	-0,7	K5	65
l'Épi	a Vir	la Vierge	+ 0,9	-3,4	B1	270
Antarès	a Sco	le Scorpion	+ 1**	-4,7	Ml	700
Pollux	P Gem	les Gémeaux	+ 1,1	+ 0,95	A0	34
Fomalhaut	aPsA	le Poisson austral	+ 1,2	-0,08	A3	25
Deneb	aCyg	le Cygne	+ 1,3	-7,3	A2	3 000
Mimosa	P Cru	la Croix du Sud	+ 1,3	-4,7	B0	400
Régulus	a Léo	le Lion	+ 1,4	-0,7	B8	78
Adhara	e CMa	le Grand Chien	+ 1,5	-5,1	B1	400
Castor	a Gem	les Gémeaux	+ 1,6		A0	52
Schaula	*X* Sco	le Scorpion	+ 1,6	-3,3	B2	700
BeEatrix	*X* Ori	Orion	+ 1,6	-4,2	B2	250

en moyenne (variable entre 0,0 et 1,3>)* * en moyenne (variable entre 0,9 et 1,8)*
(1) déduites des mesures du satellite Hipparcos

les les moins lumineuses étant les moins massives, et les plus lumineuses, les plus massives. Il existe en fait des relations diffé rentes selon le type spectral de l'étoile : pour les étoiles dont la masse est comprise entre 0,3 et 20 fois celle du Soleil, la luminosité varie approximativement comme la puissance quatrième de la masse. Cette relation masse-luminosité permet de calculer la masse d'une étoile en fonction de sa magnitude absolue. Seules les naines blanches n'obéissent pas à cette loi.
Pour que puissent s'allumer au cœur d'une étoile les réactions nucléaires qui permettront à cette étoile de briller, il faut que l'étoile ne soit pas trop petite : sa masse, à la naissance, doit représenter au minimum 6 % de celle du Soleil.
Mais, pour vivre, une étoile ne doit pas non plus être trop lourde. Sinon, eEe est instable et explose. Les astronomes ont longtemps admis qu'il ne pouvait exister d'étoiles ayant une masse dépassant 60 fois celle du Soleil. Cependant, grâce à des observations faites par des satellites, on a découvert que toutes les étoiles massives laissent échapper en per-

manence de la matière dans l'espace **(-• vent* stellaire).** Par exemple, une étoile dont la masse vaut 30 fois celle du Soleil maigrit de 20 % de cette façon au cours de sa vie. De ce fait, l'existence d'étoiles extrêmement massives n'est plus impossible : il suffit qu'elles perdent suffisamment de matière pour ne pas être instables.
On a identifié dans la Galaxie et dans certaines de ses plus proches voisines, comme les Nuages de Magellan, quelques étoiles très lumineuses dont la masse semble dépasser 100 fois celle du Soleil.
STRUCTURE INTERNE. Pour déterminer la structure interne d'une étoile, on combine les relations entre les paramètres physiques qui expriment : l'équilibre d'une sphère de gaz sous les actions opposées de sa propre gravitation et de la variation de pression ; la production d'énergie thermonucléaire dans les régions centrales ; le transport de cette énergie jusqu'à la surface de l'étoile. On démontre que, pour une masse totale fixée et une composition chimique fixée, l'ensemble des équations mathématiques qui traduisent les relations physiques décrites précédemment admet une solution unique.
C'est-à-dire que toutes les autres caractéristiques de l'étoile et la distribution interne de ses paramètres sont déterminées ; en particulier, ces modèles fournissent les valeurs de la température, de la densité et de la pression au centre de l'étoile. Ces modèles permettent aussi d'expliquer pourquoi les étoiles se répartissent au début de leur vie le long de la série principale du diagramme de Hertzsprung-Russell, les étoiles étant d'autant plus lumineuses et chaudes qu'elles sont massives.

euclidien, enne adj. Se dit d'un espace plan, d'un modèle d'univers à courbure nulle, dont la géométrie est celle qui a été étudiée par Euclide (IIIe siècle av. J.-C.) : par un point donné, on ne peut tracer qu'une parallèle à une droite, et la somme des angles d'un triangle est égale à 180°.

Eudoxe de Cnide, astronome, mathématicien et philosophe grec (Cnide v. 406 - v. 355 av. J.-C.).,
Il rapporta d'Egypte en Grèce une connaissance plus exacte de la durée de l'année, qu'il estima à 365 jours 1/4, valeur adoptée plus tard dans le calendrier julien. La plus célèbre de ses hypothèses astronomiques est celle dite des *sphères homocentriques,* qui tente d'expliquer les mouvements apparents des astres, la Terre étant présumée immobile. Eudoxe supposa que chaque planète était attachée à des sphères homocentriques, c'est-à-dire ayant toutes un centre commun, celui de la Terre, et dont les mouvements se combinaient pour former celui de l'astre considéré. Cette hypothèse fut reprise par Aristote et Callippos, mais, comme elle ne rendait pas compte des variations de distance entre la Terre et les planètes, elle fut assez vite abandonnée.

Eumetsat (acronyme de *EUropean organisation for the exploitation ofMETeorological SATellites,* organisation européenne pour l'exploitation de satellites météorologiques). Organisme intergouvernemental officiellement constitué le 19 juin 1986 par seize États européens et leurs services météorologiques, dont le siège se trouve à Darmstadt, près de Francfort, en Allemagne, et qui a pour objectif principal la mise en place, le maintien et l'exploitation des systèmes européens de satellites météorologiques opérationnels, en tenant compte dans la mesure du possible des recommandations de l'Organisation météorologique mondiale (OMM).
ENCYCL. En 1999, Eumetsat exploite deux satellites géostationnaires, Météosat* 6 et 7, lancés en 1993 et 1997. Plus de 30 pays utilisent leurs données.
Tandis qu'Eumetsat finance et administre ce programme, l'ESA continue d'en assurer l'exécution en supervisant la construction des satellites. Depuis décembre 1995, l'exploitation de tous les satellites géostationnaires d'Eumetsat, le traitement, la distribution et l'archivage des données sont réalisés à partir du siège de l'organisation à Darmstadt (Allemagne).
Eumetsat exploite son système sur des bases non commerciales. Son financement est presque entièrement couvert par les contributions de ses 17 États membres en fonction d'une clé de répartition arrêtée d'un commun accord. Sur la période 1997-1999, les contributions les plus importantes ont été

versées par l'Allemagne (25,5 %), la France (16,6 %), l'Italie (13,6 %) et le Royaume-Uni (12,9 %).
Trois satellites de seconde génération, MSG, seront lancés à partir de 2000 et exploités jusqu'en 2012. Par ailleurs, Eumetsat a décidé de se doter d'un système constitué par trois satellites polaires Metop* dont le premier sera lancé en 2003.

Euphrosyne. Astéroïde 31, découvert en 1854 par le Britannique}. Ferguson.
ENCYCL. Distance moyenne au Soleil : 562,5 millions de km. Période de révolution sidérale : 5,61 ans. Diamètre : 370 km. C'est le cinquième astéroïde par ordre décroissant de taille.

Eureca (abrév. de *EUropean REtrievabîe CArrier,* plate-forme européenne récupérable). Plate-forme autonome, récupérable de l'Agence spatiale européenne, conçue pour servir de support à des instruments destinés à des expériences de recherche et de technologie en micropesanteur.
D'une masse totale de 4,5 t, elle pouvait emporter jusqu'à 11 de charge utile. Mise en orbite en juillet 1992 et récupérée en juin 1994 par la navette américaine, elle est aujourd'hui inutilisée.

EuroMir. Programme de coopération entre l'Agence spatiale européenne et l'Agence spatiale russe qui a permis à des astronautes européens d'effectuer des vols spatiaux de longue durée à bord de la station orbitale russe Mir.
ENCYCL. Deux missions ont eu lieu. La première, EuroMir 94, s'est déroulée du 3 octobre au *4* novembre 1994, avec la participation de U. Merbold ; elle a permis d'emporter à bord de la station Mir une trentaine d'expérimentations représentant une charge utile de 150 kg et concernant essentiellement la physiologie humaine, la science des matériaux et la technologie. La seconde, EuroMir 95, s'est déroulée du 3 septembre 1995 au 29 février 1996, avec la participation de T. Reiter ; elle a comporté deux sorties dans l'espace, *les* premières d'un astronaute de l'ESA, et permis une nouvelle série d'expériences intéressant les sciences de la vie, la science des matériaux et la technologie, la charge utile européenne étant cette fois de l'ordre de 200 kg.

Europa. Programme européen de lanceur spatial lourd.
ENCYCL. AU cours d'une conférence tenue à Strasbourg, en février *1961, le* Royaume-Uni et la France proposent aux nations industrielles de l'Europe de s'associer en vue de construire un lance-satellite de trois étages capable de placer une charge utile de une tonne sur une orbite circulaire de 500 km d'altitude.
L'organisme mis en place à cette fin, le CECLES, tient sa première réunion le 5 mai 1964. Le lanceur envisagé, Europa I, comprendra un premier étage britannique (Blue Streak), un deuxième français (Coralie) et un troisième allemand (Astris). Il sera lancé de Woomera (Australie),
En 1966, il est décidé de réorienter le programme vers la construction d'un lanceur plus puissant, Europa II, susceptible d'emporter, depuis la Guyane, des satellites géostationnaires d'environ 200 kg, mieux adaptés aux besoins futurs. Mais les dix premiers essais en vol des éléments d'Europa I, réalisés à partir de 1964, à Woomera, dans des configurations évoluant progressivement vers le lanceur complet, sont décevants. Et, le 5 novembre 1971, le premier exemplaire d'Europa II explose en vol peu après avoir décollé de Kourou.
La crise qui secoue alors les organisations spatiales européennes se dénoue le 20 décembre 1972, lors de la Conférence spatiale européenne de Bruxelles, qui décide, notamment, de fusionner en une seule entité (la future ESA) le CERS et le CECLES, d'abandonner le projet Europa III (à l'étude depuis deux ou trois ans), lanceur comportant un deuxième étage cryotechnique, et d'examiner le nouveau projet LIII-S (lanceur de 3e génération de substitution), dont le développement est décidé le 31 juillet 1973, date de naissance du programme Ariane. Le programme Europa II, quant à lui, avait été arrêté le 1er mai 1973.

Europe. Satellite *de* Jupiter (n° II), découvert par Galilée le 7 janvier 1610. Demi-grand axe de son orbite : 671 *000* km. Période de révolution sidérale : 3,551 j.

Diamètre : 3 130 km. Densité moyenne : 2,97. Nom international : *Europa.*

ENCYCL. Sa surface a été révélée par les photographies des sondes américaines Voyager en 1979 et, depuis 1996, par celles de la sonde Galileo. Largement recouvert de glace, ainsi que le laissaient prévoir son albédo élevé (0,64) et son spectre infrarouge, il apparaît très lisse, mais on y remarque un réseau de lignes sombres enchevêtrées, s'étendant parfois sur des centaines de kilomètres, qui correspondent à des fractures. Sa densité suggère qu'il est composé d'un mélange de glace et de roches denses. Cela est confirmée par des mesures de spectroscopie infrarouge : d'une part, celles-ci indiquent que la surface d'Europe est essentiellement composée de glace d'eau ; d'autre part, combinées avec des données gravifiques, ces observations révèlent la présence d'une couche de glace superficielle de 150 km d'épaisseur et, au centre de l'astre, la présence d'un noyau de sulfure de fer. Quelques indices suggèrent l'existence d'un champ magnétique créé par le noyau, mais ce point reste encore incertain. Une faible atmosphère d'oxygène a, par ailleurs, été décelée autour du satellite.

Les vues du satellite prises par les sondes Voyager et Galileo montrent que sa surface est très lisse : elle ne présente pas de relief de plus d'un kilomètre d'altitude. Elle est aussi très brillante. Cette croûte de glace est traversée par de nombreuses rides et des bandes noires, longues parfois de plus de 1 000 km. Elle est pratiquement dépourvue de cratères d'impact, ce qui indique qu'elle est sensiblement plus jeune que celle de Callisto ou de Ganymède, et suggère qu'Europe est encore aujourd'hui géologiquement actif. La croûte de glace pourrait être séparée du noyau par un océan d'eau maintenu à l'état liquide par des forces de marée. Certaines images en gros plan de la surface montrent que celle-ci est fracturée en plaques de glace évoquant l'aspect de la banquise ; elles suggèrent que de l'eau à l'état liquide a existé dans un passé très récent à très faible profondeur. Ainsi, avec l'apport de matières organiques par des comètes ou des météorites, Europe pourrait posséder tous les ingrédients nécessaires à l'apparition de la vie. C'est pourquoi la NASA envisage de poursuivre l'étude détaillée de cet astre à l'aide d'un orbiteur dont le lancement pourrait intervenir à la fin de 2003 en vue d'une arrivée à proximité de Jupiter en 2006.

European Astronomical Society. Société fondée en 1990 à Davos (Suisse) et regroupant des astronomes professionnels, qui a pour objet de favoriser les contacts entre les astronomes européens et de promouvoir la coopération entre les différents pays d'Europe dans le domaine de l'astronomie.

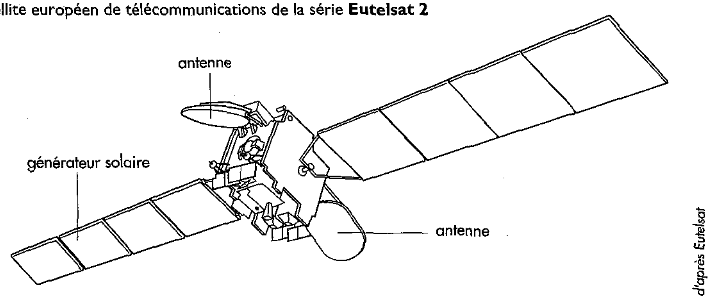
European Southern Observatory (ESO). Organisation européenne pour des recherches astronomiques dans l'hémisphère Sud.

ENCYCL. Fondée en 1962, cette organisation compte 8 États membres : l'Allemagne, la Belgique, le Danemark, la France, l'Italie, les Pays-Bas, la Suède et la Suisse. Son siège est à Garching, près de Munich, en Allemagne. Elle dispose d'un observatoire implanté au Chili, à La Silla, dans la partie sud du désert Atacama, à 600 km environ au nord de Santiago du Chili, à 2 400 m d'altitude. Sur ce site fonctionnent 15 télescopes, parmi lesquels un télescope de 3,60 m de diamètre, un télescope de nouvelle technologie (**-• NTT**) de 3,50 m et un télescope de 15 m réalisé en coopération avec la Suède pour l'étude des sources célestes de rayonnement submillimétrique (SEST, Swedish ESO Submillimetre Telescope).

Depuis 1991, un nouvel observatoire est en cours d'aménagement plus au nord, sur le Cerro Paranal, pour accueillir quatre télescopes de 8,20 m d'ouverture chacun, dont l'ensemble formera un très grand instrument, le VLT* *(Very Large Telescope).*

Eutelsat (acronyme de *EUropean TELecommunications SATellite organization,* organisation européenne de télécommunications par satellite). Organisation européenne de télécommunications par satellite créée, sous une forme provisoire, le 30 juin 1977, par dix-sept membres de la Conférence européenne des administrations des postes et télécommunications (CEPT), afin d'améliorer les communications et de distribuer des

Satellite européen de télécommunications de la série **Eutelsat 2**



programmes télévisés en Europe et mise en place, en tant qu'organisation intergouvernementale, le 14 mai 1982, et dont le siège est à Paris.

ENCYCL. Eutelsat est chargée de mettre en œuvre, d'exploiter et d'entretenir la composante spatiale d'un système de télécommunications, fixes et mobiles, nationales et internationales, publiques et privées, sur le continent européen.

La participation financière de ses membres (au nombre de 47 le 31 décembre 1998) est proportionnelle à leur utilisation du système (21,6 % pour le Royaume-Uni, 15,3 % pour la France...).

Après avoir utilisé les satellites ECS de l'ESA, Eutelsat a commandé ses propres satellites (dits « de deuxième génération », dotés de seize répéteurs de 50 W), dont les quatre premiers exemplaires ont été lancés en août 1990, en janvier 1991, en décembre 1991 et en juillet 1992.

W2, le premier des trois satellites de troisième génération, dotés de 24 répéteurs, a été lancé par une fusée Ariane en octobre 1998. D'autres satellites, nommés Hot* Bird, dédiés à la télévision directe, sont lancés depuis 1995. Début 1999, la flotte exploitée par Eutelsat comprenait 19 satellites, totalisant près de 200 répéteurs.

Les satellites Eutelsat offrent une gamme complète de services de télécommunications comprenant les reportages d'actualités par satellite, la téléphonie, les communications d'entreprise, les services multimédias, les services mobiles terrestres, les échanges de programmes dans le cadre de l'Union européenne de radiodiffusion et la distribution de programmes de télévision et de radio aux réseaux câblés et aux récepteurs individuels.

En 1998, le transport de programmes de télévision représentait 70 % du trafic d'Eutelsat. À cette époque, le système Eutelsat se composait d'une douzaine de satellites en orbite. Plus de 60 millions de foyers européens captaient leurs programmes, par câble ou par antenne.

EUVE. Abréviation de l'angl. *Extreme* VI-traViolet Explorer,* explorateur de l'extrême ultraviolet.

EVA (sigle de *Extra-Vehicular Activity,* activité extravéhiculaire). Expression américaine désignant l'activité d'un spationaute à l'extérieur d'un vaisseau spatial, que ce soit en orbite ou à la surface d'un astre. Le terme contraire, IVA *(Intm-Vehicular Activity),* est d'un emploi moins fréquent. -• **sortie dans l'espace**

évection n.f. L'une des inégalités périodiques du mouvement de la Lune. Elle a une période de 31,81 jours et une demi-amplitude de 1° 16'. Elle était déjà connue de Ptolémée, au *if* siècle.

excentricité n.f. L'un des éléments d'une orbite* (symbole : e), égal au rapport de la distance des foyers à la longueur du grand axe.

exobiologie n.f. Science qui étudie les possibilités d'existence de la vie dans l'Univers. -» **bioastronomie**

exoplanète n.f. Synonyme de planète* extrasolaire.

Exosat. Satellite européen d'astronomie X*, lancé le 26 mai 1983, et qui a fonctionné jusqu'au 9 avril 1986.

ENCYCL. Il emportait deux télescopes imageurs couvrant la gamme des rayons X de basse énergie jusqu'à 2 keV environ, un compteur proportionnel à réseau de grande surface et un spectromètre à scintillation à gaz couvrant les rayons X d'énergie supérieure à 2 keV. Placé sur une orbite caractérisée par sa grande inclinaison sur l'équateur (72,5°) et sa forte excentricité (350 km de périgée et 191 700 km d'apogée, initialement), qu'il décrivait en 4 jours, il a permis pour la première fois d'observer sans interruption pendant de longues périodes l'intensité des émissions de rayons X provenant de diverses sources.

Il a effectué au total plus de 2 000 observations. On lui doit notamment la mise en évidence, dans la constellation du Sagittaire, à quelque 20 000 années de lumière de distance, d'un système de deux étoiles qui gravitent l'une autour de l'autre en 11 minutes seulement, ce qui représente la plus courte période de révolution jamais observée en astronomie. Ce système binaire tiendrait facilement entre la Terre et la Lune, bien que sa masse totale représente une fois et demie celle du Soleil.

exosphère n.f. Région la plus élevée de l'atmosphère d'une planète, dans laquelle certains atomes peuvent échapper à l'attraction gravitationnelle de la planète et s'évader dans le milieu interplanétaire. L'exosphère terrestre commence à une altitude de 400 à 500 km.

expansion (de l'Univers). Phénomène envisagé à partir de la théorie de la relativité générale, par W. De Sitter*, en 1917, puis par A. Friedmann* en 1922 et G. Lemaître* en 1927, et d'après lequel les différentes galaxies* de l'Univers s'écarteraient les unes des autres avec une vitesse proportionnelle à leur distance mutuelle.

ENCYCL. La conception théorique d'un Univers en expansion rend bien compte de l'observation du décalage* vers le rouge des raies des spectres des galaxies et de la découverte faite par Hubble*, en 1929, de la proportionnalité entre l'importance du décalage et la distance de la galaxie considérée.

Explorer. Famille de satellites scientifiques américains.

ENCYCL. Explorer 1 fut le premier satellite lancé par les États-Unis, le 31 janvier 1958. Il s'agissait d'un engin de 14 kg seulement, y compris la masse du dernier étage de la fusée porteuse, beaucoup plus léger donc que les deux Spoutnik* mis sur orbite l'année précédente par l'URSS, qui pesaient respectivement 83,6 kg et 508,3 kg. On lui doit, en particulier, la découverte des ceintures de rayonnement entourant la Terre, dites « ceintures de Van Allen ». La série inaugurée par Explorer 1 s'est poursuivie jusqu'en 1975, totalisant 55 engins, relativement légers et peu coûteux, voués à la recherche géodésique, géophysique ou astronomique. Explorer 8, 20,22 et 27 furent des *Ionosphere Explorer,* chargés de mesurer la densité d'électrons de l'ionosphère dans le cadre d'un programme international mené de 1960 à 1964. Explorer 9,19, 24, 25, 39 et 40 furent des *Air Density Explorer :* il s'agissait de sphères gonflables de près de 4 m de diamètre placées sur une orbite d'environ 300 km de périgée et 2 500 km d'apogée ; l'étude de la modification de cette orbite au cours du temps renseignait sur les fluctuations saisonnières de la densité de la haute atmosphère. Dix Explorer lancés de 1963 à 1973 (Explorer 18, 21, 28, 33, 34, 35, 41, 43, 47 et 50) furent des *Interplanetary Monitoring Platforms* (IMP), placés sur des orbites éloignées de la Terre et même, dans un cas, sur orbite lunaire, pour étudier les relations entre les phénomènes solaires et la magnétosphère terrestre sur un cycle d'activité solaire de 11 ans. Explorer 29 et Explorer 36 furent des satellites de géodésie (GEOS 1 et 2) et Explorer 38, 39 et 49 des satellites de radioastronomie chargés d'étudier des radiosources galactiques. La mission d'Explorer 38 ayant été contrariée par des interférences avec des émissions radioélectriques d'origine terrestre, Explorer 49 fut satellisé autour de la Lune. Explorer 42, 43 et 53 formèrent la série des *Small Astronomy Satellite* (SAS), consacrés à l'astrophysique des hautes énergies : Explorer 42, appelé aussi SAS 1 ou Uhuru, lancé en 1970, ouvrit la

voie à l'étude spatiale des sources célestes de rayons X, dont il dressa la première carte.
À la fin des années 70, le programme Explorer s'est internationalisé avec les trois satellites ISEE* *{International Sun-Earth Explorer),* dédiés à l'étude des relations Soleil-Terre, et le satellite IUE* (*International Ultraviolet Explorer),* destiné à l'étude des sources célestes de rayonnement ultraviolet.
En 1992 a été lancé le satellite EUVE* *(Extreme Ultra Violet Explorer),* 67e engin de la famille Explorer, pour l'étude du ciel dans l'ultraviolet extrême.

explosion primordiale. Expression française désignant le *Big* Bang.*

extinction n.f. Diminution que subit, par absorption ou diffusion, l'intensité du rayonnement émis par un astre, lorsque ce rayonnement traverse un milieu donné.
ENCYCL. La matière interstellaire provoque une forte extinction de la lumière visible des étoiles lointaines : c'est ce qu'on appelle *l'extinction interstellaire.* Celle-ci augmente fortement lorsque la longueur d'onde diminue : elle est plus marquée vers le bleu que vers le rouge, ce qui explique le phénomène de rougissement* interstellaire. Pour une longueur d'onde de 550 nanomètres (jaune), elle est d'environ 1,5 magnitude par kiloparsec. Dans l'ultraviolet, l'extinction interstellaire est très importante. En revanche, l'infrarouge et les ondes radio ne sont pas affectées par le phénomène.
L'atmosphère terrestre contribue aussi à réduire l'intensité de la lumière qui nous parvient des astres : c'est *l'extinction atmosphérique.* Celle-ci affecte davantage les astres les plus proches de l'horizon, parce que leur lumière nous arrive après avoir traversé une plus grande épaisseur d'atmosphère. Par ailleurs, comme l'extinction interstellaire, elle est plus marquée pour les radiations dont les longueurs d'onde sontles plus courtes, et contribue donc à faire paraître les astres plus rouges qu'ils ne sont réellement.

extragalactique adj. Situé hors de notre Galaxie.

extrasolaire adj. Extérieur au système solaire.

extraterrestre. 1. adj. Situé à l'extérieur de la Terre. 2. n.m. Habitant supposé d'une planète autre que la Terre.

extravéhiculaire adj. Qualifie l'activité d'un spationaute qui évolue à l'extérieur de son vaisseau spatial.

Extreme Ultraviolet Explorer (EUVE). Satellite américain d'astronomie, lancé en 1992, qui étudie l'Univers dans l'ultraviolet extrême, à des longueurs d'onde comprises entre 6 et 80 nanomètres, grâce à quatre télescopes (trois dédiés à la cartographie des sources célestes de rayonnement UV, le quatrième à la spectroscopie à faible résolution). Fin 1998, il avait déjà catalogué quelque 1 100 sources galactiques, dont 30 % restaient encore non identifiées.

Eyharts (Léopold), officier de l'armée de l'air et spationaute français (Biarritz 1957).
Sélectionné comme spationaute par le CNES en décembre 1990, il participe au projet Hermes. En 1992, il réussit les épreuves de sélection des astronautes de l'ESA. En juillet 1994, le CNES le désigne comme doublure de Claudie André-Deshays pour la mission Cassiopée* de 1996. En tant que cosmonaute expérimentateur, il participe à la mission franco-russe Pégase*, du 29 janvier au 19 février. Il est le huitième Français à partir dans l'espace.

f

F. Type spectral caractérisant, dans la classification de Harvard, les étoiles dont la température superficielle est comprise entre 6 000 et 7 500 K : des étoiles blanches ou bleutées, dont le spectre est dominé par les nombreuses raies de métaux neutres ou ionisés une fois. Exemples : Canopus, Procyon.

F/D (rapport). Rapport de la distance focale F au diamètre D de l'objectif d'un télescope ou d'une lunette astronomique. Appelé aussi *rapport d'ouverture,* c'est une caractéristique importante de l'instrument.

Fabricius (David), astronome et théologien hollandais (Esens 1564 - Osteel 1617).
Il est connu pour avoir découvert, en 1596, la première étoile variable *Mira* Ceti ;* il fut aussi l'un des premiers à observer les taches solaires à la lunette (1610).

faculaire adj. Relatif à une facule. *Plage faculaire :* région de l'atmosphère du Soleil située au-dessus d'une facule. Elle apparaît formée de structures appelées naguère *flocculi.*

facule n.f. (du latin *facula,* dimin. de *fax, facis,* torche). Région d'activité solaire qui apparaît brillante dans les raies photosphériques.
ENCYCL. Les facules sont visibles en lumière blanche, par raison de contraste, près du bord du Soleil. Ce sont des régions de renforcement du champ magnétique qui entourent les taches quand les régions actives sont jeunes. Elles se dispersent ensuite lentement après la disparition des taches.

Faraday (rotation). Rotation du plan de polarisation du rayonnement radio synchrotron*, provoquée par la présence d'électrons libres et d'un champ magnétique dans la région que traverse le rayonnement.

Farnborough. Ville de Grande-Bretagne, dans le Hampshire, au S.-O. de Londres.
ENCYCL. Sa base aérienne abrite tous les deux ans (années paires) un Salon international de l'aéronautique (en alternance avec celui du Bourget).

Farrhani (Muhammad ou Ahmad ibn Kathir al-), astronome arabe du ixe siècle.
Il a composé un *Livre de la science des étoiles et des mouvements célestes,* traduit en latin au xiie s. Il est connu également sous le nom latinisé *à'Alfraganus.*

fausse couleur. Couleur artificielle d'une image, obtenue en redistribuant dans la partie visible du spectre électromagnétique le résultat d'une observation comportant généralement une ou plusieurs composantes situées en dehors de cette partie.
ENCYCL. Pour permettre aux instruments de télédétection d'accéder au proche infrarouge, portion du spectre électromagnétique non perçue par l'œil humain mais dans laquelle la végétation est très active, des émulsions spéciales, sensibilisées par des pigments particuliers, ont été mises au point. Photographiée avec une émulsion infrarouge couleur (dite, à l'origine, « fausse couleur »), une scène est rendue par des couleurs différentes de celles que verrait l'œil humain, qui résultent d'un décalage spectral : l'infrarouge apparaît en rouge, le

rouge en jaune, le jaune-vert en bleu et le bleu en noir. Aujourd'hui, d'une façon très générale, on dit qu'un document de télédétection est en fausse couleur dès lors que ses couleurs ne sont pas les couleurs naturelles, celles que percevrait l'œil humain s'il observait le paysage étudié.

fauteuil spatial (ou volant). Appellation familière de l'appareil de propulsion autonome utilisé par un spationaute pour évoluer librement dans l'espace à proximité de son vaisseau spatial. Un tel dispositif a été mis en *service par les États-Unis sous le* nom de MMU et par l'ex-URSS sous celui de Ikarus.

Favier Qean-Jacques), ingénieur et spationaute français (Kehl, Allemagne, 1949).
Sélectionné comme spationaute par le CNES en 1985, il participe - en tant que spécialiste de charge utile - à la mission STS 78 de la navette américaine, du 20 juin au 7 juillet 1996, devenant le premier scientifique et sixième Français à partir dans l'espace.
A bord de Columbia, il a mis en œuvre un programme scientifique d'une quarantaine d'expériences concernant les sciences de la vie et de la matière.

Fédération internationale d'astronautique (IAF). Organisation scientifique non gouvernementale, à but non lucratif, fondée en 1950 par les représentants des sociétés d'astronautique de huit pays (Allemagne fédérale, Argentine, Autriche, Danemark, Espagne, France, Grande-Bretagne et Suède) pour favoriser le développement de l'astronautique dans des buts pacifiques.
ENCYCL. En 1960, elle a créé l'Académie internationale d'astronautique et l'Institut international de droit spatial. Son congrès annuel est une manifestation de haut niveau qui réunit l'élite de l'astronautique mondiale. En 1994, elle regroupe 129 sociétés issues de 45 pays.
ADRESSE : 10-12, rue du Capitaine-Ménard, 75015 Paris.

fenêtre atmosphérique. Intervalle du spectre électromagnétique dans lequel le rayonnement solaire n'est pas absorbé par l'atmosphère terrestre.
ENCYCL. L'atmosphère terrestre absorbe ou réfléchit, totalement ou partiellement, la plupart des rayonnements électromagnétiques provenant du cosmos. Depuis l'avènement des satellites artificiels, l'accès à la gamme complète de ces rayonnements est devenu possible. Mais, au sol, on ne dispose que de deux « fenêtres » d'observation assez étroites ; l'une couvre les longueurs d'onde comprises entre 0,3 jim et quelques dizaines de micromètres : c'est la « fenêtre optique », qui comprend la lumière visible (de 0,4 à 0,8 pm) ainsi que les radiations ultraviolettes et infrarouges qui en sont les plus voisines ; l'autre couvre les longueurs d'onde comprises entre 1 mm et *20* m environ : c'est la « fenêtre radio », qui comprend les ondes hertziennes millimétriques, centimétriques, décimétriques, métriques et décamétriques.

fenêtre de lancement. Intervalle de temps pendant lequel un lancement spatial *permettant de réaliser une* mission *donnée* peut être effectué à tout instant. À distinguer de créneau* de lancement.

fermé, e adj. *Univers fermé :* modèle d'univers évolutif qui contient une quantité de matière suffisante pour stopper son expansion et provoquer sa contraction à une époque déterminée, dans le futur.

fibrille n.f. Élément de la structure fine de la chromosphère solaire.
ENCYCL. Les fibrilles forment un réseau ordonné de filaments dans les régions actives ou autour de ces régions ; elles sont orientées en direction du champ magnétique local. Leur largeur est de 725 à 2 200 km, leur longueur de 11 000 km en moyenne. Elles sont visibles en *lumière* monochromatique de certaines raies fortes de Fraunhofer (Ha). Le réseau de fibrilles reste stable durant plusieurs heures, bien qu'une fibrille n'ait qu'un temps de vie de 10 à 20 minutes.

filament n.m. Protubérance* solaire vue en projection sur le disque du Soleil.

filigree n.m. (mot anglais signifiant *filigrane).* Structure fine de la haute photo-

sphère solaire visible sur les images prises à très haute résolution.

ENCYCL. Les Eligrees, localisés généralement dans les espaces intergranulaires, sont des points brillants qui s'allument et s'éteignent en deux à trois minutes de temps. Ils apparaissent souvent en alignement dont la durée de vie est de l'ordre de la demi-heure.

filtre n.m. Objet ou dispositif servant à modifier, par transmission, le flux, la répartition spectrale, ou l'un et l'autre, du rayonnement qui le traverse. On distingue les filtres non sélectifs (neutres) et les filtres sélectifs (colorés). *Filtre interférentiel* : ensemble de couches minces déposées sur du verre, et qui ont la propriété de ne laisser passer que certaines radiations. Les filtres simples sont constitués par une pellicule diélectrique (MgF_2, par ex.) emprisonnée entre deux couches métalliques (Ag, Al), et le principe de leur fonctionnement est fondé sur les interférences entre les diverses vibrations réfléchies par les couches métalliques.

FIRST (sigle de l'angl. *Far Infra Red and Submillimetre space Telescope,* télescope spatial pour l'infrarouge lointain et le domaine submillimétrique). Projet de télescope spatial européen dédié à l'observation de l'Univers dans l'infrarouge lointain et aux longueurs d'onde submillimétriques (entre 80 et 670 pm).

ENCYCL. Cette mission constitue la 4e pierre angulaire du programme scientifique Horizon 2000 de l'Agence spatiale européenne. Le télescope aura un diamètre de 3,5 m ; ses instruments focaux seront refroidis à très basse température à l'aide d'hélium superfluide. Son lancement est prévu en 2007 par une fusée Ariane 5 ; il formera une charge utile commune avec la mission Planck*. Le satellite doit être placé au voisinage du point de Lagrange* L2 du système Terre-Soleil, à 1,5 million de kilomètres environ de la Terre.

fixe adj. Se disait autrefois des étoiles, qui paraissent conserver des positions invariables les unes par rapport aux autres, par opposition aux planètes (astres errants), qui se déplacent parmi les constellations. *Sphère des fixes :* -> **sphère* céleste**

FK (abréviation de l'allemand *Fundamental Katalog,* catalogue fondamental). Désignation abrégée de plusieurs catalogues fondamentaux d'étoiles publiés par l'observatoire de Heidelberg, en Allemagne, depuis 1907. La version actuelle, dite FK 5, renferme des données sur 1 535 étoiles d'éclat supérieur ou égal à la magnitude 7.

Flagstaff. Ville des États-Unis, dans le centre de l'Arizona, à 2 100 m d'altitude, où est implanté l'observatoire Lowell*.

Flammarion (Camille), astronome français (Montigny-le-Roi, Haute-Marne, 1842 - Juvisy-sur-Orge 1925). Il fut un vulgarisateur enthousiaste et talentueux des connaissances astronomiques de son époque. Son *Astronomie populaire* (1879) recueillit un immense succès et suscita de nombreuses vocations d'astronomes. En 1887, il créa la Société astronomique de France. Établi à Juvisy, au sud de Paris, il y fonda en 1883 un observatoire où il se livra jusqu'à sa mort à des recherches très diverses (astronomie, météorologie, climatologie), effectuant notamment de nombreuses observations des planètes.

Flamsteed (John), astronome anglais (Denby, Derbyshire, 1646 - Greenwich 1719).

Premier Astronome Royal, nommé par le souverain Charles II l'année même de la fondation de l'observatoire de Greenwich (1675), il équipa et aménagea cet observatoire en vue d'accomplir la mission que lui assignait le roi : rectifier les tables des mouvements célestes et les positions des étoiles de façon à permettre une meilleure détermination des longitudes en mer et, par suite, améliorer la navigation. De 1676 à 1705, il accumula les observations. Celles-ci aboutirent à la publication, en 1712, d'un catalogue d'étoiles intitulé *Historia cœlestis britannica.* Mais, mécontent de cette publication, effectuée sans son autorisation, Flamsteed se querella avec ses collègues, dont Newton, et brûla de ses propres mains 300 des 400 exemplaires imprimés. Son catalogue, révisé, fut finalement republié par ses assistants après sa mort, en 1725 : il renferme les coordonnées de 2 866 étoiles.

En 1729 fut aussi publié l'atlas céleste correspondant.

flare n.m. (mot anglais signifiant *flamboiement*). Synonyme de sursaut.

flash de l'hélium. Événement explosif qui marque, à l'intérieur des étoiles peu massives (dont la masse est inférieure à 2 fois environ celle du Soleil), le début de la combustion thermonucléaire de l'hélium, après l'épuisement des réserves d'hydrogène. -• **étoile**

Flèche (en latin *Sagitta, -ae*). Petite constellation boréale.
Aucune de ses étoiles n'a une magnitude inférieure à 3,5. Les plus brillantes dessinent approximativement une flèche orientée sud-ouest/nord-est, au nord de l'Aigle. La principale curiosité de la constellation est l'amas globulaire M71, à mi-distance entre y et S *Sge,* qui est situé à 18 000 années de lumière.

Fleetsatcom. Satellites géostationnaires américains de télécommunications militaires lancés depuis 1978.
ENCYCL. Pesant environ 2 t, ils sont équipés chacun de 23 canaux UHF de télécommunications et peuvent relayer plus de 1 300 communications téléphoniques simultanées et assurer des transmissions télégraphiques ou de données.

flint n.m. (mot anglais, abréviation de *flint-glass*). Verre à base de plomb, fortement dispersif, utilisé dans les instruments d'optique, en association avec des lentilles en *crown,* pour obtenir la correction des aberrations chromatiques.

flocculi n.m.pl. (mot latin). Structures fines d'apparence floconneuse, que l'on distingue sur les images monochromatiques de la chromosphère solaire.

fluorite n.f. Bifluorure de calcium utilisé pour la fabrication de doublets achromatiques*.

focal, e adj. Relatif au foyer d'une lentille, d'un miroir, d'un système optique. *Distance focale* ou *focale* (n.f.) : distance du foyer principal d'un système centré au plan principal du système. Dans un système mince (miroir, lentille mince), c'est la distance de la surface du système au foyer. *Plan focal :* plan normal à l'axe d'un système optique et contenant le foyer.

focogramme n.m. Photographie permettant de visualiser les défauts de courbure de la surface d'un miroir de télescope révélés par la méthode de Foucault.

Fomalhaut (de/arabe *fom al-hut,* la bouche du poisson). Étoile a du Poisson austral. Magnitude apparente visuelle : 1,2. Type spectral : A3. Distance : 25,1 années de lumière. Rayon : 1,5 fois celui du Soleil. En 1983, le satellite IRAS a découvert autour de cette étoile, par son émission de rayonnement infrarouge, un nuage de particules solides qui pourrait être un système planétaire en formation.

fond du ciel. Ensemble des sources de rayonnement contribuant au signal reçu par un instrument astronomique, sur lequel se détachent les astres observés. Pour un observateur terrestre, il comprend la lumière zodiacale, les émissions atmosphériques, les étoiles et les astres invisibles et, le jour, la lumière solaire diffusée par l'atmosphère.

fondamental, e adj. 1. Qualifie un catalogue stellaire donnant des positions d'étoiles qui ont été déterminées de façon absolue et avec la plus haute précision possible en compilant de nombreuses observations.
ENCYCL. On détermine les positions absolues des étoiles en observant les instants de leurs passages au méridien. La combinaison des résultats obtenus dans plusieurs observatoires permet d'accroître la précision. Une série de catalogues fondamentaux a été publiée par l'observatoire de Heidelberg. **FK**
2. Qualifie l'époque choisie comme origine d'une échelle de mesure du temps. 3. Qualifie le plan de référence d'un système particulier de coordonnées. Par exemple, l'équateur est le plan fondamental du système de coordonnées équatoriales.

For. Abréviation de *Fornax,* désignant la constellation du Fourneau.

Fornax (-acis) Nom latin de la constellation du Fourneau (abrév. *For).*

fossa (mot latin ; pl. *fossae).* n.f. Vallée longue, étroite et peu profonde, dans la nomenclature internationale du relief des surfaces planétaires.

Foucault (Léon), physicien français (Paris 1819 - *id.* 1868).
Collaborateur de Fizeau*, puis d'Arago*, il détermina, en 1850, la vitesse de la lumière dans l'air, dans l'eau et dans divers milieux transparents ; les résultats qu'il obtint confortèrent la théorie ondulatoire de la lumière et contribuèrent à ruiner la théorie de l'émission. À la même époque, il montra l'existence, dans les masses métalliques, de courants induits, nommés depuis *courants de Foucault.* En 1851, il mit en évidence le mouvement de rotation de la Terre grâce à une expérience, restée célèbre, qui consistait à observer la rotation du plan d'oscillation d'un pendule suspendu sous la coupole du Panthéon. L'année suivante, il inventa le *gyroscope* et établit la théorie des phénomènes gyroscopiques. En 1857, il eut l'idée de substituer, dans les télescopes, des miroirs de verre argenté aux miroirs métalliques. Enfin, en 1858, il inventa une méthode de retouches locales pour la fabrication des miroirs paraboliques, dont l'emploi est devenu classique dans la réalisation des télescopes.

Foucault (méthode de). Méthode de contrôle de la surface optique d'un miroir de télescope due à L. Foucault.
ENCYCL. Le principe de cette méthode consiste à déterminer le rayon de courbure des zones concentriques du miroir. On approche une lame de couteau, dans le plan focal du miroir, du foyer lui-même, tout en observant le miroir, éclairé en lumière parallèle dans la direction de l'axe optique. Le miroir parfait doit donner une image ponctuelle au foyer. On voit donc, si la lame se déplace bien dans le plan focal, le miroir éclairé uniformément s'éteindre d'un coup sur toute sa surface au moment où la lame passe au foyer. S'il subsiste des défauts de courbure, certains rayons seront occultés avant que la lame n'atteigne le foyer, d'autres continueront à être visibles après, puisqu'ils n'y passent pas. La figure obtenue (qui peut être aisément photographiée) représente, très exagérés, les creux et les bosses de la surface par des ombres plus ou moins marquées ; les défauts mis en évidence sont, en général, d'une dimension inférieure au micron. On peut ainsi procéder aux retouches de polissage nécessaires.

Foucault (pendule de). Pendule conçu en 1851 par L. Foucault pour démontrer la rotation de la Terre.
ENCYCL. Il est constitué par une lourde masse suspendue par un long fil attaché de telle sorte que la masse puisse se balancer dans n'importe quel plan. Mis en oscillation dans un plan vertical, le pendule continue son mouvement de balancement dans un plan qui, pour un observateur lié à la Terre, tourne dans le sens des aiguilles d'une montre, faisant un tour complet en 24 h/sin φ, φ étant la latitude du lieu. Cette expérience met en évidence le mouvement de rotation de la Terre.

foucaultage n.m. Opération de contrôle de la surface optique d'un miroir de télescope par la méthode de Foucault.

Fourneau (en latin *Fornax, -acis).* Constellation australe, au sud de la Baleine et à l'ouest de l'Éridan, introduite par La Caille en 1752 sous la dénomination de « Fourneau du chimiste ».
ENCYCL. Son étoile la plus brillante est de magnitude apparente voisine de 4. Située à proximité du pôle galactique sud, c'est-à-dire dans une direction où l'on peut observer plus facilement l'espace extérieur à notre galaxie, cette constellation recèle, notamment dans sa partie sud-est, de nombreuses galaxies, dont les plus brillantes sont observables avec un télescope de 100 à 150 mm d'ouverture. Elle renferme aussi une galaxie naine, membre du Groupe* local, située à 600 000 années de lumière, mais celle-ci est inaccessible aux instruments d'amateur.

Fowler (William Alfred), astrophysicien américain (Pittsburgh, Pennsylvanie, 1911 - Pasadena, Californie, 1995).
Entré en 1933 au California Institute of Technology, il y a enseigné la physique à

partir de 1939. Physicien nucléaire de formation, il s'est orienté ensuite vers l'astrophysique, au développement de laquelle il a apporté une contribution majeure dans le domaine de la nucléosynthèse* stellaire. Il a partagé le prix Nobel de physique 1983 avec S. Chandrasekhar.

foyer n.m. 1. Point où convergent les rayons lumineux (ou les ondes radio) émis par un astre après avoir été collectés par un miroir ou un objectif (ou une antenne). 2. Point fixe qui, associé à une droite donnée (directrice), permet met de définir une conique (ellipse, parabole ou hyperbole).

FR1 (abréviation de *France).* Nom du premier satellite scientifique français, placé sur orbite le 6 décembre 1965 par un lanceur américain Scout depuis la base de Vandenberg (Californie). Il était chargé d'étudier les couches ionisées de l'atmosphère par observation de la propagation d'ondes radioélectriques de très basse fréquence. Conçu pour une durée de vie de trois mois, il fonctionna parfaitement jusqu'au 26 août 1968, accomplissant plus de 14 000 révolutions terrestres.

Fra Mauro. Cratère lunaire, au nord-ouest de la mer des Nuées. Coordonnées : 6° S., 17° N. Diamètre : 95 km. La mission Apollo 14 a atterri au nord de ce cratère.

Fraunhofer (Joseph von), opticien et physicien allemand (Straubing, Bavière, 1787 - Munich 1826).
D'abord apprenti chez un fabricant de glaces, devenu très jeune orphelin, il reçut un don de l'Électeur de Bavière et entra comme élève à la fabrique d'instruments d'optique de Munich. Il inventa le spectroscope et put, grâce à son emploi, repérer les raies du spectre solaire (1814), auxquelles on a donné son nom. Il se spécialisa ensuite dans la réalisation de lentilles achromatiques. Par la suite, vers 1822, il imagina d'utiliser des réseaux, commença l'analyse de la lumière provenant des principales sources naturelles ou artificielles et dressa une première classification spectrale des étoiles.

Fraunhofer (raies de). Raies sombres du spectre d'une étoile dues à l'absorption par la chromosphère de cette étoile des radiations émises par sa photosphère.
ENCYCL. Découvertes en 1814 par Fraunhofer dans le spectre du Soleil, ces raies ont été détectées depuis dans certains spectres stellaires, et l'on a pu en identifier au total environ 25 000. Les raies les plus fortes sont dues à la présence de calcium ionisé, d'hydrogène neutre, de sodium et de magnésium ; les plus faibles, à la présence de fer. Leur étude permet de déterminer non seulement la composition chimique, mais aussi les conditions physiques dans les couches extérieures du Soleil et des étoiles.

freinage (rayonnement de). Rayonnement émis lors du ralentissement subi par des particules chargées électriquement de grande énergie lorsqu'elles traversent la matière.
ENCYCL. Une particule chargée qui passe assez près d'un noyau est déviée par le champ électrostatique que crée celui-ci. Ce changement de direction est accompagné de l'émission d'un photon gamma. L'énergie perdue par la particule, du fait de son ralentissement, se retrouve dans celle du photon. Ce phénomène est d'autant plus important que la particule est plus rapide et que le noyau est plus lourd, SYN : *Bremsstrahlung.*

freinage atmosphérique. 1. Diminution de la vitesse d'un satellite provoquée par l'atmosphère résiduelle qu'il traverse. 2. Utilisation de la traînée aérodynamique pour diminuer la vitesse d'un engin spatial pénétrant dans *une* atmosphère ; résultat de cette opération.
ENCYCL. Pour une orbite elliptique, le freinage se produit pour l'essentiel au voisinage du périgée, où la densité atmosphérique est la plus forte. La diminution de vitesse du satellite qui en résulte provoque un abaissement de l'altitude de l'apogée, l'orbite tend à devenir circulaire et le processus s'accélère jusqu'à la rentrée du satellite dans les couches denses de l'atmosphère. En général, le freinage atmosphérique peut être considéré comme une simple perturbation *du* mouvement orbital du satellite, mais, lorsque l'altitude est inférieure à 200 km, la densité atmosphérique devient trop élevée et il faut appliquer les lois de l'aérodynamique hyper-

sonique qui régissent les conditions de rentrée dans l'atmosphère.
On utilise le freinage atmosphérique pour la récupération de capsules spatiales sur la Terre ou pour l'atterrissage de sondes à la surface d'autres planètes, durant la première phase de leur descente dans l'atmosphère, avant l'ouverture de parachutes. **aérocapture**

Friedmann (Aleksandr), astronome et mathématicien russe (Saint-Pétersbourg 1888-1925).
En se fondant sur la théorie de la relativité* d'Einstein*, il a développé, en 1922, des modèles d'univers isotrope, dont la densité moyenne et le rayon varient au cours du temps, et qui sont à la base de la cosmologie* moderne.

Frimout (Dirk), ingénieur, chercheur et spationaute belge (Poperinge 1941).
Sélectionné comme astronaute par la NASA en 1985, il devient, en 1992, le premier citoyen belge à accomplir un vol spatial, en participant, du 24 mars au 2 avril, en tant que spécialiste de charge utile, à la 46e mission de la navette américaine et au programme Adas 1 d'étude de l'atmosphère.

Fucino. Ville d'Italie, à 120 km de Rome.
ENCYCL. Un centre de télécommunications spatiales (32 antennes), géré par Telespazio, assure l'exploitation des systèmes européens et internationaux (ESA, Intelsat, Inmarsat, etc.).

fuseau horaire. Chacun des vingt-quatre fuseaux géométriques conventionnels, d'une amplitude de 15°, entre lesquels est partagée la surface de la Terre, et dont tous les points ont en principe la même heure légale.
ENCYCL. Les fuseaux horaires sont numérotés de 0 à 23 à partir du méridien* origine, en allant vers l'est. Par convention, l'heure correspondant à chacun d'eux est le temps* universel coordonné augmenté d'un nombre d'heures égal au numéro du fuseau. Lorsque ce numéro dépasse 12, il faut, en outre, retrancher 1 au quantième. Dans la zone du globe correspondant au douzième fuseau, on ne retranche 1 au quantième que si l'on franchit la ligne de changement de date de l'ouest vers l'est (inversement, si l'on franchit cette ligne de l'est vers l'ouest, on doit ajouter 1 au quantième). La ligne de changement de date ne coïncide pas rigoureusement avec le méridien 180° (antiméridien de Greenwich) sur toute sa longueur, de manière à éviter certaines îles, notamment dans la région du détroit de Béring et du groupe des îles Aléoutiennes.
En principe, chaque pays, ou chaque province pour les pays étendus, devrait adopter comme heure légale l'heure du fuseau qui contient la majeure partie de son territoire. Mais il existe en fait de nombreuses dérogations, notamment par suite de l'usage de l'heure d'été. Toutefois, la règle essentielle selon laquelle l'heure légale doit différer du temps universel d'un nombre entier d'heures est presque universellement respectée.

FUSE (sigle de l'angl. *Far Ultraviolet Spectroscopie Explorer).* Satellite d'astronomie dans l'ultraviolet, fruit d'une collaboration entre les agences spatiales des États-Unis, de la France et du Canada.
ENCYCL. Lancé le 24 juin 1999, il a été placé en orbite à 768 km d'altitude. Il emporte un spectrographe à haute résolution et ses observations s'effectuent dans la bande de longueurs d'onde comprise entre 90,5 et 118,5 nm, où se trouvent les principales raies spectrales de l'hydrogène. Les principaux objectifs scientifiques de sa mission sont la détermination de l'abondance du deutérium (pour une meilleure compréhension de l'histoire de l'Univers), l'étude du milieu interstellaire et une meilleure compréhension de l'évolution chimique des galaxies.

fusée (du latin *fusus,* fuseau, en raison de l'analogie de forme) n.f. 1. Projectile qui assure lui-même sa propulsion. **2.** Véhicule mû par un moteur à réaction (dit « moteur-fusée ») et capable d'évoluer hors de l'atmosphère.
ENCYCL. Inventeurs de la poudre noire (mélange savamment dosé de salpêtre, de soufre et de charbon de bois), les Chinois ont construit et lancé les premières fusées, vraisemblablement vers le XIe ou le XIIe siècle. La période précise de cette invention demeure

incertaine tant il est difficile de déterminer si les « flèches à feu », souvent citées dans les textes anciens, étaient porteuses de feu ou propulsées par fusée.
Par contre, les armes incendiaires utilisées par les guerriers de l'Antiquité et du Moyen Age, par exemple le feu grégeois, ne peuvent être assimilées à des fusées puisqu'il s'agissait simplement de mélanges incendiaires projetés par baliste ou catapulte.
L'emploi de flèches à feu propulsées par la combustion de poudre est attesté en Chine au xiie siècle. L'invention gagne l'Occident, qui l'utilise largement au cours des siècles suivants, principalement pour le divertissement (feux d'artifice) et la guerre.
L'idée d'employer la fusée comme moteur de gigantesques machines aptes au voyage dans l'espace semble être émise, pour la première fois, par le Russe Tsiolkovski à la fin du xixe siècle.

Après lui, trois chercheurs isolés, qui ne se sont pas connus, travaillent à la théorie et à la construction des fusées : l'Américain R.H. Goddard, l'Allemand H. Oberth et le Français R. Esnault-Pelterie. Leurs travaux aboutissent à la mise au point des grosses fusées, capables de placer sur orbite des satellites artificiels, auxquelles on réserve généralement le nom de *lanceur**.

fusée-sonde n.f. Fusée décrivant une trajectoire suborbitale qui permet d'effectuer des mesures et des expériences.
ENCYCL. Lancée verticalement, une fusée-sonde peut emporter des centaines de kilogrammes d'instruments ou d'expériences scientifiques à une altitude très élevée, entre une centaine et un millier de kilomètres selon les modèles. Sa charge utile, abritée dans la pointe de l'engin, est récupérée avec un parachute. Cette possibilité a donné lieu à deux catégories d'applications. La première est l'exploration (ou sondage) de la haute atmosphère, que n'atteignent ni les ballons (qui plafonnent vers 40 km) ni les satellites (qui gravitent au-delà de 200 km).
Les premières connaissances sur l'environnement terrestre (ionosphère, magnétosphère...) ont été acquises de cette façon par les États-Unis et l'ex-URSS vers le milieu du siècle. Depuis cette époque, des milliers de fusées-sondes ont été lancées de par le monde à des fins scientifiques (géophysique externe, aéronomie, météorologie, astronomie, physique solaire et même biologie au moyen de cobayes : chats, singes, rats, etc.).
Pour sa part, la France a mené pendant une quinzaine d'années (approximativement entre 1960 et 1975) un important programme de recherches scientifiques et technologiques avec des centaines de fusées-sondes (Centaure, Véronique, Dragon, Eridan...) lancées en France (île du Levant, Kourou), en Algérie (Hammaguir, Colomb-Béchar, Reggane) et au cours de campagnes à l'étranger (Brésil, Norvège, Islande, îles Kerguelen, terre Adélie, etc.).

Le second type d'applications concerne les recherches en micropesanteur. Dans ce cas, on met à profit la très faible pesanteur résiduelle observée dans la partie supérieure de la trajectoire de la pointe lorsque la propulsion a cessé et que le frottement aérodynamique est encore réduit. Selon les vols, on peut obtenir une micropesanteur de 10^{-4} g pendant cinq à quinze minutes. C'est là une application, plus récente que la précédente, qui permet aux scientifiques de préparer des expériences appelées à voler sur un véhicule spatial du type navette ou satellite. Les applications concernent surtout la science des matériaux (expériences de fusion et de solidification) et intéressent notamment les États-Unis, le Japon et l'Europe, qui a décidé, en 1982, un programme de ce type avec les fusées-sondes Texus et, depuis 1991, Maxus.

fuséologie n.f. Science et technique des fusées.

g

G. Type spectral caractérisant, dans la classification de Harvard, les étoiles dont la température superficielle est comprise entre 5 000 et 6 000 K : des étoiles jaunes ou blanches, dont le spectre est dominé par les raies de métaux neutres. Exemple : le Soleil, Capella.

Gacrux (du latin *gafmma] aux)*. Étoile y de la Croix du Sud. Magnitude apparente visuelle : 1,6. Type spectral : M4. Distance : 88 années de lumière.

Gagarine (Iouri Alekseïevitch), pilote militaire et cosmonaute soviétique (Klouchino, district de Gjatsk, auj. Gagarine, région de Smolensk, 1934 - région de Kirjatch 1968). Sélectionné en 1960 dans la première équipe de cosmonautes, il a été le premier homme à accomplir un vol spatial, le 12 avril 1961, à bord du vaisseau Vostok 1. Au cours de ce vol, qui dura 108 minutes, il effectua une révolution autour de la Terre. Il a trouvé la mort le 27 mars 1968 dans un accident d'avion d'entraînement militaire.

GAIA. Projet de satellite d'astrométrie envisagé par l'Agence spatiale européenne dans le cadre du programme scientifique Horizon 2000+.

ENCYCL. Ses performances seraient très supérieures à celles, déjà remarquables, du satellite Hipparcos*. Placé en orbite au point de Lagrange* L2 du système Terre-Soleil, il permettrait de mesurer les distances et les vitesses de plus d'un milliard d'objets célestes, jusqu'à la magnitude 20 ou 21. La précision des mesures astrométriques effectuées atteindrait 10 microsecondes d'arc.

galactique adj. Relatif à la Galaxie ou à une galaxie. *Coordonnées galactiques :* coordonnées sphériques (latitude et longitude galactiques) dans un système direct dont le plan fondamental est le plan galactique, le pôle positif étant situé dans l'hémisphère céleste boréal. L'origine des longitudes est la direction du centre de la Galaxie. *Plan galactique :* plan de symétrie de la Galaxie. *Pôles galactiques :* points d'intersection de la sphère céleste avec une normale au plan galactique. Les coordonnées équatoriales du pôle galactique nord, rapportées à l'équinoxe 1950, sont : ascension droite = 12 h 49 min, déclinaison = + 27° 24'. *Rotation galactique :* mouvement de rotation d'ensemble de la Galaxie.

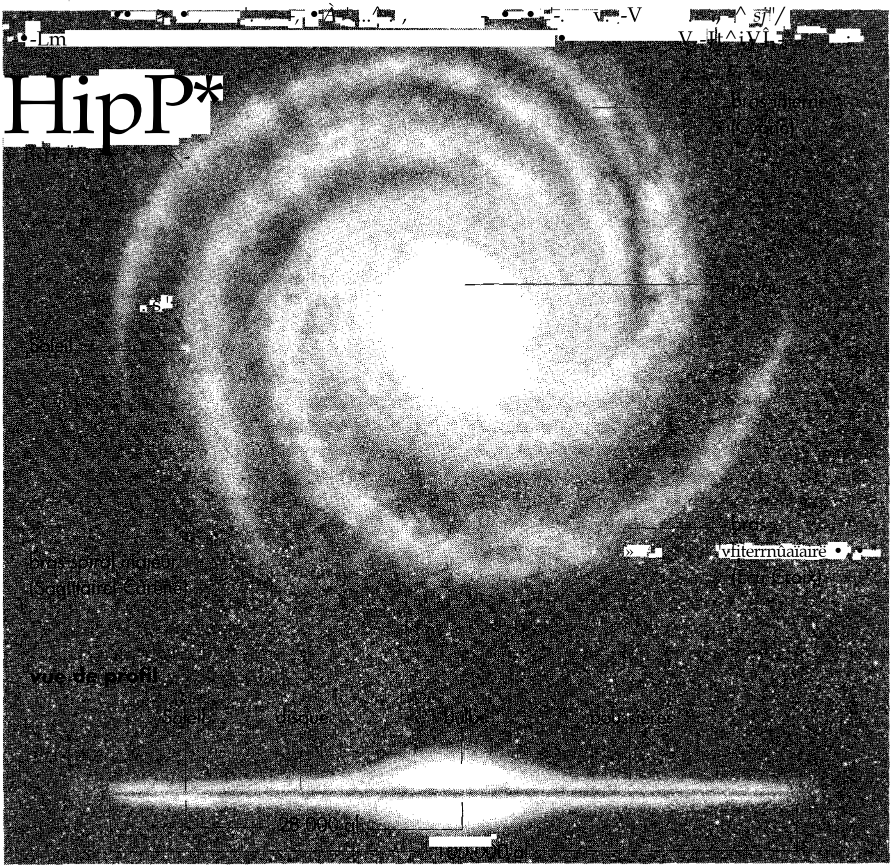
Galatea. Nom international du satellite Galatée.

Galatée. Satellite de Neptune n° IV, découvert en 1989 par la sonde américaine Voyager 2. Nom international : *Galatea.* Demi-grand axe de son orbite : 62 000 km. Période de révolution sidérale : 10,3 h. Diamètre : 160 km.

galaxie n.f. (du grec *galaksias,* Voie lactée, de *gala, -aktos,* lait). Vaste ensemble d'étoiles et de matière interstellaire, isolé dans l'espace, dont la cohésion est assurée par la gravitation.

ENCYCL. Le système solaire est inclus à l'intérieur d'une galaxie que l'on désigne par une majuscule.

LA GALAXIE. En première approximation, on peut considérer la Galaxie comme constituée par un disque très aplati dont le diamè-



tre est voisin de 30 000 parsecs (100 000 al), et dont l'épaisseur est à peu près uniforme, avec une grosse boursouflure vers le centre (5 000 pc), appelée le *bulbe.* Le centre est situé pour nous vers la constellation du Sagittaire. La position du Soleil y est sensiblement excentrée, aux deux tiers d'un rayon à partir du centre et légèrement au N. du plan moyen, l'épaisseur du disque aux environs du Soleil étant d'environ 1 000 pc. La concentration de matière diminue du centre vers les bords. Autour du disque se répartissent des amas* globulaires dans un système sphéroïdal appelé le *halo.*

Différents constituants. La Galaxie est un ensemble d'étoiles, de gaz et de poussières. La présence de gaz se manifeste sous forme de nébuleuses* brillantes, ou régions H II, au voisinage des étoiles chaudes, et sous forme de gaz froid, décelable seulement dans le domaine des ondes radio, loin des étoiles chaudes. L'ensemble du gaz et des poussières constitue le milieu interstellaire* ; il représente environ 10 % de la masse de la Galaxie.

Le disque renferme environ 70 % de la masse totale ; il contient des étoiles d'âges et de masses variés, et toute la matière interstellaire. Cette dernière et les étoiles les plus jeunes sont réparties le long de bras spiraux dans un disque d'épaisseur très faible, de l'ordre de 200 al. Les étoiles plus vieilles et les nébuleuses planétaires sont moins concentrées dans le disque galactique, avec une épaisseur moyenne de l'ordre de 700 à 1 000 al.

Le bulbe contient une très faible proportion de gaz : il est pour l'essentiel constitué d'étoiles vieilles riches en métaux et d'étoiles de population* II. La répartition du gaz interstellaire révélée par les observations radioastronomiques de l'hydrogène neutre à 21 cm de longueur d'onde et du monoxyde de carbone indique une structure complexe et d'importants mouvements d'expansion du gaz à partir du centre galactique, avec en particulier une concentration en anneau à environ 10 000 al du centre. La région centrale, la plus dense, est appelée *noyau.*
Le centre même de la Galaxie coïncide avec une radiosource compacte, Sagittarius* A, d'un diamètre inférieur à 20 fois la distance Terre-Soleil. C'est aussi une source de rayons X et d'infrarouge, et il est entouré de nuages d'hydrogène ionisé en mouvement. On ne sait s'il s'agit d'un amas très dense d'étoiles ou d'un trou* noir d'une masse de plusieurs millions de fois celle du Soleil.
Le halo est essentiellement peuplé d'étoiles âgées et de population II réparties dans les amas globulaires. Certaines observations récentes donnent à penser qu'il y a également une large couronne gazeuse autour du disque.

Mouvements et rotation différentielle. En 1926-27, B. Lindblad et J.H. Oort ont établi que le système des étoiles constituant le disque est animé d'une rotation d'ensemble autour d'un centre situé dans la direction du Sagittaire - la direction du centre de notre Galaxie - et suivant un axe perpendiculaire au disque. Cette rotation d'ensemble ne s'effectue pas comme celle d'un corps solide, mais est une rotation différentielle qui peut être caractérisée par une courbe de rotation donnant la vitesse de rotation en fonction de la distance au centre. Dans les régions centrales, à moins de 2 000 al du centre, cette vitesse reste proportionnelle à la distance au centre, ce qui traduit une rotation identique à celle d'un corps solide. Plus loin du centre, la vitesse augmente, passe par un maximum (voisin de 250 km/s), puis diminue avant de croître à nouveau, ce qui indique la présence d'une couronne de matière invisible au-delà du bord visible du système. Le Soleil et le système solaire décrivent dans la Galaxie une trajectoire circulaire avec une vitesse d'environ 250 km-s"1 ; cela correspond à une durée de 240 millions d'années pour effectuer un tour complet. En plus de ce mouvement d'ensemble, le Soleil a, par rapport aux étoiles de son voisinage, un mouvement particulier. Celui-ci s'effectue à une vitesse de 19,6 km-s"1, en direction d'un point du ciel appelé *apex*.*
Structure spirale. La structure spirale du disque de la Galaxie a été révélée en 1950-51 par les observations de la raie à 21 cm de l'hydrogène neutre émise par le gaz interstellaire. Plus récemment, le tracé détaillé des bras a été obtenu à partir de la répartition des régions d'hydrogène ionisé et de leurs étoiles excitatrices, en utilisant à la fois les observations optiques et en ondes radio de ces régions.

Le maintien d'une structure spirale malgré la rotation différentielle s'explique à partir du concept d'« ondes* de densité ». Dans cette théorie, la formation des bras spiraux est liée à la propagation d'une perturbation du potentiel gravitationnel qui se superpose à la rotation galactique.
LES GALAXIES. L'existence d'autres galaxies plus ou moins semblables à la nôtre fut pressentie dès le XVIIIe siècle par des savants comme les Britanniques J. Wright et W. Herschel* ou des philosophes comme l'Allemand E. Kant. Mais la preuve n'en a été apportée qu'en 1924, lorsque E. Hubble* mit en évidence des étoiles dans la nébuleuse M31 d'Andromède et établit que cette nébuleuse était en fait une gigantesque concentration d'étoiles et de matière interstellaire, située à l'extérieur de la Galaxie. On connaît à présent des dizaines de millions de galaxies et celles-ci apparaissent comme le constituant fondamental de l'Univers.
Ce sont de vastes systèmes dont le diamètre typique est de l'ordre de 100 000 al, qui contiennent des étoiles (de l'ordre de 100 milliards en moyenne), du gaz (de 0 à 30 % de la masse totale) et des poussières.
Classification. Hubble a proposé en 1926 de classer les galaxies en trois grandes catégories : elliptiques, spirales (barrées ou non) et irrégulières. Cette classification essentiellement morphologique comporte des subdivisions plus fines, qui caractérisent ce que l'on appelle le *type morphologique* de la galaxie. Des classifications plus détaillées ont été élaborées à partir des clichés modernes.

Les galaxies elliptiques (en réalité, ellipsoïdales) constituent environ 15 % de l'ensemble des galaxies.
Les galaxies lenticulaires et spirales (classiques ou barrées) sont des systèmes plats et constituent environ 80 % de l'ensemble. Les galaxies lenticulaires n'ont pas de bras spiraux, alors que les galaxies spirales, comme notre Galaxie, ont leur gaz et leurs étoiles concentrés dans des bras spiraux. Les galaxies spirales se distinguent en type *Sa*, S*b*, Sc suivant l'importance relative de leur noyau - qui décroît des *Sa* vers les Se - et le degré d'enroulement des bras autour du noyau, ceux-ci étant très serrés pour les S*a* et s'ouvrant progressivement vers les Se.
Les galaxies irrégulières n'ont pas de forme géométrique bien définie et elles sont beaucoup moins fréquentes ; elles ne représentent que 3 % environ de l'ensemble des galaxies.

Enfin, une très petite proportion de galaxies (2 %) n'entre pas dans cette classification ; ces galaxies sont dites *particulières.* La plupart résultent vraisemblablement de l'interaction ou de la collision de deux ou de plusieurs galaxies.
Propriétés physiques. L'analyse du contenu des galaxies (proportion relative des différents types d'étoiles, nébuleuses brillantes, gaz froid loin des étoiles chaudes) par les méthodes optiques et radioastronomiques (en particulier, à partir de la raie à 21 cm de l'hydrogène neutre) montre que la séquence des types morphologiques a une signification physique liée à la proportion d'étoiles jeunes (chaudes et bleues) et de gaz.
Les galaxies elliptiques ne possèdent ni étoiles jeunes ni poussières, et ont très peu de gaz.

Les galaxies *Sa* ont peu d'étoiles jeunes et de gaz, et cette proportion augmente régulièrement quand on parcourt la séquence vers les irrégulières. Ces dernières sont très riches en étoiles jeunes et en région HII, et une part importante (environ 30 %) de leur masse est sous forme de gaz (essentiellement de l'hydrogène neutre).
La distribution des étoiles chaudes et des régions HII en bras spiraux dans le disque des galaxies spirales est clairement visible sur les photographies ; les taches quasi circulaires très lumineuses, qui dessinent ces bras, ne sont pas les étoiles des galaxies, mais les nébuleuses brillantes (ou régions HII) entourant les étoiles chaudes.
La distribution du gaz froid dans les galaxies se manifeste dans le domaine des ondes radio, essentiellement par l'émission de la raie à 21 cm de l'hydrogène neutre (principal constituant du milieu interstellaire) et des raies émises par certaines molécules (les plus importantes sont OH à 18 cm et CO à 2,6 mm). Les cartographies détaillées obtenues avec les radio-interféromètres montrent clairement que le gaz froid (essentiellement l'hydrogène neutre) est lui aussi réparti le long de la structure spirale visible en optique.
Mouvements. La mesure des décalages des raies observées (en optique et en radio) en différents points sur une galaxie permet de déterminer les mouvements de cette galaxie, à la fois le mouvement d'ensemble du système et les mouvements internes dans la galaxie.
La rotation interne de l'ensemble des constituants d'une galaxie est un phénomène général. Pour les galaxies spirales, elle se traduit par une rotation différentielle du même type que celle observée pour notre Galaxie, mais dont l'amplitude maximale dépend de la luminosité de la galaxie. Les galaxies irrégulières apparaissent également comme des systèmes légèrement aplatis et animés d'une très faible rotation d'ensemble (de l'ordre de quelque 10 km-s"1). Les mouvements dans les galaxies elliptiques sont essentiellement aléatoires ; les dispersions sont de quelques centaines de km-s"1, alors que les vitesses de rotation ne semblent pas dépasser quelques dizaines de km-s"1.
Distance et répartition. La détermination des distances des galaxies repose sur des méthodes indirectes. Elles appliquent des relations (ou critères de distance) établies et calibrées avec des astres de distance connue, entre un paramètre observationnel et la luminosité ou une dimension géométrique. On utilise, par exemple, la période des céphéides* ou le diamètre des régions HII. On construit ainsi une échelle de distance de proche en proche en partant des indications primaires que sont les critères fondés sur des relations et calculs de calibre, dans notre Galaxie, et en établissant *une* succession d'autres critères

qui, eux, ne sont plus directement calibrés dans notre Galaxie. **distance**
La distance moyenne entre deux galaxies représente une trentaine de fois leur diamètre. Mais la répartition des galaxies n'est pas uniforme ; seulement 20 % des galaxies sont isolées, les autres étant groupées en paires, triplets, groupes, amas* et superamas*.

Décalage spectral vers le rouge. Les raies des spectres des galaxies sont systématiquement décalées vers le rouge, et le décalage est proportionnel à leur distance. Ce phénomène s'interprète simplement dans le cadre de la théorie de la relativité générale comme une conséquence de l'expansion de l'Univers. Au début de 1999, le plus grand décalage spectral observé est de 6,68 (raies spectrales décalées de 668 %), pour une galaxie de magnitude 28 découverte avec le télescope spatial Hubble dans la constellation de la Grande Ourse.

Évolution. Les grandes lignes de l'évolution des galaxies sont réglées par les transformations mutuelles subies par leurs constituants fondamentaux, qui sont les étoiles et le gaz interstellaire. Les étoiles au cours de leur évolution restituent une faible partie du gaz initial au milieu interstellaire, mais cette petite fraction a une composition chimique qui s'est enrichie en éléments lourds fabriqués par les étoiles. Ainsi, l'évolution d'une galaxie se traduit par un appauvrissement progressif de son contenu global en gaz au profit des étoiles et par un enrichissement en éléments lourds de la composition chimique du milieu interstellaire résiduel.
On admet généralement aujourd'hui que toutes les galaxies se sont formées simultanément, environ un ou deux milliards d'années après le Big* Bang (selon un processus encore mal élucidé), mais que les différents types morphologiques traduisent des rythmes très différents du taux de formation des étoiles. Ainsi, les galaxies elliptiques seraient celles qui ont transformé pratiquement tout leur gaz en étoiles dès leur formation. Les irrégulières, au contraire, transformeraient très lentement leur gaz en étoiles. Les spirales auraient un rythme intermédiaire de transformation du gaz en étoiles. Toutefois, des résultats récents indiquent que le contenu gazeux d'une galaxie est aussi lié à son environnement. En particulier, les interactions gravitationnelles entre galaxies proches induisent des déformations de structure et peuvent stimuler le taux de formation des étoiles.

Galaxies actives. Certaines galaxies (moins de 5 % de l'ensemble) présentent des caractéristiques anormales qui traduisent une activité importante localisée dans leur noyau ; il s'agit des galaxies à noyau actif : radiogalaxies*, galaxies de Seyfert*, galaxies N*, quasars*. D'autres galaxies particulières : galaxies de Haro, galaxies de Markarian, galaxies à grumeaux, présentent un excès d'émission ultraviolette et bleue qui pourrait traduire une production récente et intense d'étoiles très bleues et lumineuses. Le satellite IRAS* a découvert en 1983 des galaxies qui émettent principalement du rayonnement infrarouge. On pense que les galaxies de ce type, dites *galaxies infrarouges,* ont un taux de formation d'étoiles anormalement élevé, ce qui leur vaut d'être appelées aussi *galaxies à flambées d'étoiles.* Toutes ces anomalies pourraient correspondre à certaines phases brèves d'activité d'une galaxie, au cours de son évolution.

Galilée (Galileo Galilei, dit), astronome et physicien italien (Pise 1564 - Arcetri 1642).
Il est l'un des fondateurs de la mécanique moderne. Ses vues sont encore assez dépendantes de l'aristotélisme dans le *De motu* (1590). Si, dès 1604, il s'intéresse à la loi de la chute des corps dans le vide, il ne la déterminera exactement qu'après de nombreuses années, ayant d'abord cru que c'était le temps, et non la vitesse, qui était proportionnel à la longueur. Et c'est surtout à partir de 1632, dans le *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo,* qu'il démontre clairement que cette loi est indépendante de la masse et de la densité du corps, deux corps de masse ou de densité différente lâchés de la même hauteur tombant au sol au même instant.
Ses expériences concernant la descente d'un corps le long d'un plan incliné vont le conduire, par la considération du cas limite du plan horizontal, à la première formulation du principe d'inertie, mais sous une forme n'ayant pas la généralité que lui donnera Descartes. D'ailleurs, Galilée demeure attaché à l'idée aristotélicienne que le mou-

vement circulaire est un mouvement parfait et naturel. En revanche, il a le grand mérite d'affirmer le premier, bien que sous une forme un peu imparfaite, le principe de la relativité du mouvement de deux mobiles en déplacement rectiligne et uniforme l'un par rapport à l'autre.
En astronomie, il a introduit l'usage de la lunette, apportant ainsi une révolution dans les techniques d'observation de l'Univers. Grâce aux lunettes rudimentaires qu'il construisit à partir de 1609 et qu'il eut l'idée de braquer vers le ciel, il effectua les premières observations du relief de la Lune, découvrit les phases de Vénus et les quatre principaux satellites de Jupiter, comprit que la Voie lactée renferme un fourmillement d'étoiles, et put distinguer dans les constellations des étoiles jusque-là insoupçonnées. Annoncées en 1610 dans le *Sidereus nuncius* (« le Messager sidéral »), ces découvertes démontraient clairement que l'Univers n'avait pas les caractéristiques que lui attribuait Aristote et vinrent, à des titres divers, renforcer l'hypothèse de Copernic. Ainsi, la présence sur la Lune de montagnes (dont Galilée détermina la hauteur en mesurant leurs ombres portées) et de vallées prouvait que celle-ci n'est pas fondamentalement différente de la Terre, et, puisqu'elle se déplace dans le ciel, il n'était pas absurde d'envisager que la Terre aussi est en mouvement. L'apparence des phases de Vénus, inexplicable dans le système de Ptolémée, fournissait une preuve empirique indiscutable du système néliocentrique, dont la validité était attestée par l'existence de satellites autour de Jupiter, formant avec la planète elle-même un véritable système solaire en réduction. Enfin, la distinction entre étoiles et planètes qu'autorisait la lunette - les premières restant ponctuelles lorsqu'on les observe à l'aide d,'un tel instrument, tandis que les secondes montrent un diamètre apparent sensible - prouvait que les étoiles sont considérablement plus éloignées que les planètes et révélait l'immensité de l'Univers stellaire.

galiléen, enne adj. Relatif aux conceptions de Galilée. *Référentiel galiléen* : référentiel dans lequel la loi fondamentale de la dynamique est valable sous la forme $f = my$, f étant la force appliquée au corps de masse m, qui prend l'accélération y. On dit aussi *référentiel d'inertie, référentiel inertiel. Transformation galiléenne :* loi de transformation des coordonnées d'espace-temps en cinématique non relativiste. *Satellite galiléen :* chacun des quatre principaux satellites de Jupiter que découvrit Galilée.

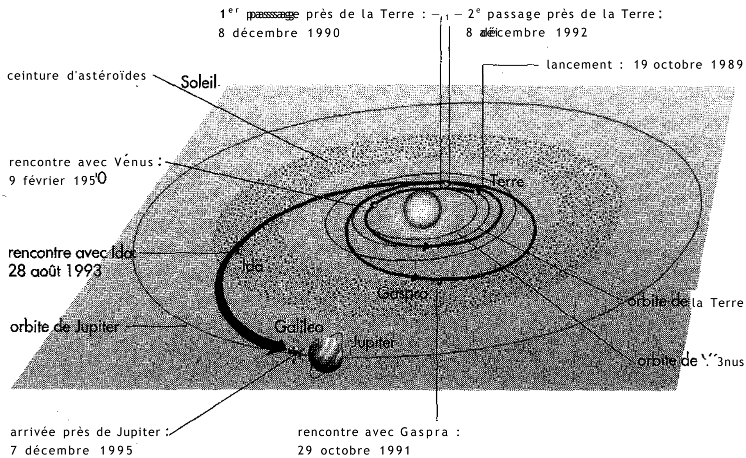
Galileo - GNSS

Galileo. Sonde automatique américaine destinée à l'exploration de Jupiter.
ENCYCL. Lancée le 19 octobre 1989 par l'orbiteur Atlantis de la navette américaine, Galileo a suivi une trajectoire complexe qui lui a permis de bénéficier de l'assistance gravitationnelle de Vénus et de la Terre, et de survoler les astéroïdes Gaspra* et Ida*. Le 12 juillet 1995, elle a largué un module de 337 kg (dont 28 kg d'instruments scientifiques), qui a plongé dans l'atmosphère de Jupiter le 7 décembre pour en étudier les caractéristiques (profil vertical de la température et de la pression, altitude et composition des nuages, etc.). Le vaisseau principal, de 1138 kg (dont 103 kg de matériel scientifique, analogue à celui des sondes Voyager hormis un dispositif de prise de vues plus performant), a servi à relayer les données transmises par la sonde d'exploration de l'atmosphère ; resté en orbite autour de Jupiter, il étudie sa magnétosphère, analyse sa composition physico-chimique, photographie la planète et ses principaux satellites dont il s'approche à faible distance. Pour les communications avec la Terre, la sonde est équipée de deux antennes, l'une à gain élevé, l'autre à faible gain. Malgré de nombreuses tentatives, l'antenne principale n'a pu être déployée, ce qui limite considérablement le débit des transmissions.

Galle 0ohann Gottfried), astronome allemand (Pabsthaus, Prusse, 1812 - Potsdam 1910).
Le 23 septembre 1846, à l'observatoire de Berlin, il découvrit la planète Neptune, sur les indications de Le Verrier qui en avait prévu l'existence et la position par le calcul.

Gallex. Expérience de mesure du flux de neutrinos* solaires avec un détecteur au gallium, effectuée en collaboration par l'Aile-

Trajectoire de la sonde spatiale **Galileo**



magne, la France et l'Italie dans un laboratoire souterrain, sous le Gran Sasso, dans le massif des Abruzzes, près de L'Aquila (Italie).

ENCYCL. Le principe de l'expérience repose sur la transformation de gallium 71 en germanium 71 (avec dégagement d'électrons) sous l'action des neutrinos. L'expérience met en œuvre un réservoir contenant 30 t de gallium à l'état de solution concentrée de chlorure de gallium. Elle fonctionne depuis 1991. Les théoriciens sont perplexes devant les résultats obtenus, car ceux-ci montrent que le flux de neutrinos solaires observé est inférieur (d'un bon tiers) à celui théoriquement prévu. Des physiciens français oni-çependantpu démontrer en 1994 la fiabilité incontestable du détecteur.

gamma (astronomie). Partie de l'astrophysique qui étudie les sources célestes de rayonnement *y*.

ENCYCL. L'astronomie gamma a pour but la découverte et l'étude des astres émettant dans la partie à plus haute énergie du spectre électromagnétique. Conventionnellement, on a fixé la limite de ce domaine à des énergies de photon de l'ordre de 0,1 MeV, correspondant à un rayonnement d'environ 10^{-11} m de longueur d'onde ou 10^{19} Hz de fréquence. L'astronomie gamma fournit le moyen le plus direct, et parfois le seul, pour explorer les sites où s'effectuent les plus grands transferts d'énergie. Elle est particulièrement bien adaptée à l'étude des processus violents intervenant dans la plupart des phénomènes qui déterminent la dynamique et l'évolution des étoiles et des galaxies. Cependant, des difficultés expérimentales sévères ont longtemps limité son essor. Elles tiennent au fait que la longueur d'onde associée aux photons (est toujours très inférieure aux distances interatomiques dans les solides. Il est donc impossible de réfléchir le rayonnement (et de le concentrer sur des détecteurs de petites dimensions par des dispositifs équivalant à des miroirs courbes, comme on le fait dans les autres domaines de longueurs d'onde. De plus, les astres émetteurs de rayonnement *y*, même les plus puissants, rayonnent peu de photons *y*, du fait de la grande énergie qu'emporte chacun d'eux. Enfin, l'atmosphère terrestre constitue un écran infranchissable aux rayonnements de haute énergie, de sorte que l'astronomie gamma doit se pratiquer à bord de ballons stratosphériques, de fusées ou, mieux, de satellites artificiels, qui seuls permettent les longues périodes d'observation imposées parla faiblesse des flux reçus.

Il a donc fallu attendre 1968 pour que soient effectuées les premières observations astro-

nomiques dans le domaine gamma, et ce n'est qu'à la fin de la décennie suivante que l'astronomie gamma est passée véritablement de la phase exploratoire au stade des découvertes. Lés techniques d'observation les plus couramment utilisées correspondent aux différentes conditions d'interaction des photons (avec la matière. À basse énergie (inférieure à quelques MeV), les processus dominants sont l'effet photoélectrique - électron extrait du cortège électronique des atomes auquel le photon transfère l'essentiel de son énergie -, ainsi que l'effet Compton - diffusion au photon avec changement d'énergie et apparition d'un électron de recul. Dans les deux cas, l'électron résultant peut être mis en évidence par la scintillation qu'il provoque dans certains matériaux, par exemple un cristal d'iodure de sodium ; on réalise alors un télescope à rayons (en plaçant le cristal derrière un collimateur qui définit le champ de vue de l'instrument. À plus haute énergie, le photon (passant au voisinage immédiat d'un noyau atomique se matérialise en un couple électron-positron (effet de paire). On reconstitue la direction du photon en provoquant sa « matérialisation » dans un dispositif où l'on visualise et mesure la trajectoire de la paire électron-positron.

Dès le début des années 70, une couverture systématique du ciel a été entreprise dans la gamme des hautes énergies (au-delà de 50 MeV), avec des instruments placés à bord de satellites artificiels. Commencées en 1972-73 avec le satellite américain SAS 2, les observations ont été poursuivies et complétées par le satellite européen COS-B, dont l'exceptionnelle longévité a permis de dresser la première carte du ciel dans le domaine des rayons (de haute énergie.
Depuis le début des années 90, de substantiels progrès ont été accomplis grâce au télescope français Sigma* et au satellite américain Compton*. Ils devraient se poursuivre au début du xxf siècle avec le lancement du satellite européen Intégral*.

gamma (point). Synonyme de point vernal*

Gamma. Satellite russe d'astronomie X et y.

ENCYCL. D'une masse de 7,3 t, il a été lancé le 11 juillet 1990 de la base de Tiouratam par une fusée Soyouz et placé sur une orbite circulaire à 400 km d'altitude, inclinée de 51,6° sur l'équateur.
Réalisée avec une participation française, sa charge utile, de 1,71, comprenait essentiellement le télescope Gamma ,1 destiné à l'étude fine des sources célestes de rayonnement y de haute énergie (de 50 MeV à 5 GeV) ; elle était complétée par deux détecteurs, l'un pour l'étude des sources de rayons y de 20 keV à 5 MeV, l'autre pour celle des sources de rayons X de 2 à 25 keV.
Les objectifs de la mission n'ont été que très partiellement atteints, la chambre à étincelles constituant le télescope n'ayant pu être connectée. Le satellite est retombé dans l'atmosphère le 28 février 1992.

Gamow (George Anthony), physicien américain d'origine russe (Odessa 1904 - Boulder, Colorado, 1968).
En cosmologie, il a repris et développé (1948) l'hypothèse selon laquelle l'Univers, actuellement en expansion, aurait connu une explosion primordiale. **Big Bang**

Ganymède. Satellite de Jupiter (n° III), découvert par Galilée le 7 janvier 1610.
ENCYCL. Demi-grand axe de son orbite : 1 070 000 km. Période de révolution sidérale : 7,155 j. Diamètre : 5 260 km (c'est le plus gros satellite planétaire du système solaire). Densité moyenne : 1,93. Sa surface, révélée par les photographies des sondes américaines Voyager en 1979, juxtapose des terrains d'âges très différents, ce qui semble refléter une histoire géologique complexe. Des zones sombres très anciennes criblées de cratères d'impact voisinent avec des régions claires, apparemment beaucoup plus jeunes (car la densité des cratères y est nettement plus faible), parcourues de longs sillons parallèles, s'étendant sur plusieurs centaines de kilomètres, qui correspondent sans doute à des fractures. On estime que le satellite renferme, en masse, environ 50 % d'eau et 50 % de silicates, avec une structure différenciée, comportant une croûte de glace qui repose sur un large manteau de glace et de roches entourant un noyau métallique. Comme Io*, Ganymède est enve-

loppée d'une atmosphère très ténue. La **sonde** Galileo a découvert qu'il possède **aussi un** champ magnétique propre, dont **Fintensité** est environ un millième de celle **du champ** terrestre.

Gameau (Marc), astronaute canadien **(Québec 1949).**
Membre de l'équipage de la treizième mis**sion de** la navette spatiale américaine, du 5 **au 13** octobre 1984, en tant que spécialiste **de** charge utile, il est le premier astronaute **canadien** à avoir effectué un vol spatial.

Gassendi (Pierre Gassend, dit), philoso**phe,** astronome, mathématicien et physi**cien** français (Champtercier, près de Digne, **1592** - Paris 1655).
En astronomie, pionnier de l'observation à **la** lunette, il a observé les satellites de Jupi**ter,** Saturne (sans distinguer ses anneaux), plusieurs éclipses et Mercure, dont il a été le **premier** à observer un passage devant le Soleil (1631). On lui doit aussi la première description scientifique d'une aurore bo**réale (1621).**

GDTA (sigle de Groupement pour le Développement de la Télédétection Aérospatiale). Groupement d'intérêt économique **créé** en 1973 par le Centre national d'études spatiales et l'Institut géographique national pour développer les méthodes de télédétection aérospatiale et promouvoir leur exploitation.

géante n.f. Type d'étoile lumineuse et de grand rayon, peu dense.

gegenschein n.m. (mot allemand). Lueur très faible apparaissant dans le ciel dans la direction opposée à celle du Soleil.
ENCYCL. Découverte par Humboldt au début du xixe siècle, cette lueur, en Europe, n'est guère visible qu'à l'automne dans la constellation des Poissons. Elle a pendant longtemps été attribuée à un nuage de poussières lié à la Terre, mais les observations de sondes spatiales ont prouvé que le phénomène est en réalité lié aux propriétés de rétrodiffusion des fines particules solides présentes dans l'espace interplanétaire, SYN : *lueur antisolaire.*

Gem. Abréviation de *Gemini,* désignant la constellation des Gémeaux.

Gémeaux (en latin *Gemini, -orum*) Constellation du zodiaque, située entre le Taureau et le Cancer.
ENCYCL. Caractérisée par deux étoiles brillantes, Castor et Pollux, disposées parallèlement à la Voie lactée, elle renferme plusieurs étoiles doubles, dont les composantes peuvent être séparées à l'aide de petits instruments d'observation, et un grand nombre d'étoiles variables, souvent irrégulières. L'étoile *U Gem* est le prototype d'une classe d'étoiles éruptives. La constellation abrite aussi, à l'ouest, un bel amas ouvert, M 35, accessible aux jumelles, qui est situé à 2 200 années de lumière.

Geminga (contraction de *Gemini gamma* et mot signifiant *il n'y a rien* en dialecte milanais). Source très intense de rayonnement (découverte en 1972, dans la constellation des Gémeaux, par le satellite américain SAS 2.
ENCYCL. Son identification est restée longtemps douteuse. Grâce aux observations des satellites HEAO 2, Rosat et Compton et du télescope européen NTT, on sait désormais qu'il s'agit d'un pulsar situé à 140 années de lumière environ et qui tourne sur lui-même en 0,237 seconde. Sa contrepartie optique, découverte en 1988, est une étoile très faiblement lumineuse, de magnitude 25.

Gemini (-orum). Nom latin de la constellation des Gémeaux (abrév. *Gem).*

Gemini. Nom de deux télescopes jumeaux de 8,1 m de diamètre implantés l'un dans l'hémisphère Nord, l'autre dans l'hémisphère Sud, dans le cadre d'un programme international auquel participent les États-Unis, le Canada, la Grande-Bretagne, le Brésil, le Chili et l'Argentine, et dont la direction est assurée par un groupe d'universités américaines, l'AURA*.
ENCYCL. Le premier télescope (Gemini Nord) inauguré en 1999 sur le Mauna Kea, à Hawaii (latitude : 19°49' N.), à 4 100 m d'altitude, est muni d'un équipement optimisé pour l'infrarouge et de quelques instruments spécifiquement dévolus au visible. Le se-

cond (Gemini Sud), destiné seulement à des observations dans le visible, devrait entrer en service en 2001 sur le Cerro Pachón, au Chili (latitude : 30°21' S.), à 2 725 m d'altitude. Les deux télescopes ont pour miroir primaire un ménisque mince en silice.

Gemini. Programme américain de vols spatiaux pilotés réalisés en 1965 et 1966 à l'aide de vaisseaux biplaces, dans le but d'étudier le comportement d'astronautes dans l'espace lors de séjours allant jusqu'à deux semaines et de maîtriser la technique des rendez-vous spatiaux.
ENCYCL. Il comporta deux vols d'essai sans *équipage, suivis de* dijjxvols pilotés, tous réussis malgré divers incidents. Lors du vol Gemini 4, en juin 1965, eut lieu la première sortie extravéhiculaire d'un astronaute américain dans l'espace, Edward White. Le 15 décembre 1965, Gemini 6 et Gemini 7 réalisèrent le premier rendez-vous spatial de l'histoire de l'astronautique et, le 16 mars 1966, l'amarrage du vaisseau Gemini 8 avec un étage de fusée Agena choisi comme cible constitua le premier amarrage de deux engins dans l'espace.

Géminides. Essaim de météorites, ou météores associés, observables autour du 13 décembre, dont le radiantse *situe dans la* constellation des Gémeaux.

Gemma. Nom latin de la Perle*, l'étoile a de la Couronne Boréale.

General Dynamics Corporation. Société américaine de construction aérospatiale issue de la fusion, intervenue en 1943, de la Consolidated Aircraft Corporation, fondée en 1923, et de la Vultee Aircraft.
ENCYCL. En 1954, la General Dynamics Corporation a absorbé une autre société de construction aéronautique, la Convair Corporation. En aéronautique, elle est à l'origine de la construction des ailes triangulaires en delta, et c'est aussi à elle que l'on doit le premier bombardier intercontinental « B-36 ».

Dans le domaine de l'espace, elle a mis au point le missile intercontinental Atlas*, qui a connu un grand développement comme lanceur spatial (il permit notamment les premiers vols orbitaux américains habités, ceux du programme Mercury), et l'étage à oxygène et hydrogène liquides Centaur, qui, combiné à l'Atlas, a donné naissance à partir de 1963 à l'Atias-Centaur, devenu l'un des principaux lanceurs spatiaux non récupérables des États-Unis.

générateur solaire. Équipement assurant l'alimentation en énergie électrique de la plupart des satellites artificiels. La présence de batteries d'accumulateurs chimiques reste toutefois nécessaire en tant que source secondaire, surtout pendant les périodes d'éclipsé.
ENCYCL. C'est en 1954 que des chercheurs américains de la Bell Téléphoné mettent au point la première cellule photovoltaïque à haut rendement : elle transforme en électricité 6 % de l'énergie lumineuse reçue. À la même époque, l'industrie spatiale naissante cherche des solutions nouvelles pour alimenter ses satellites : dès 1958, les États-Unis lancent le premier satellite équipé de cellules solaires, Vanguard 1.
Cette technique s'est largement généralisée aujourd'hui, avec des rendements pouvant atteindre jusqu'à 18 % avec des cellules à l'arséniure de gallium (AsGa), épitaxiées sur un substrat de germanium, ce qui permet d'obtenir *jusqu'à 160* W/m² de cellules (contre seulement 110 W/m² avec les cellules au silicium utilisées auparavant). Les générateurs solaires sont de deux types, fixes ou orientables.

GÉNÉRATEURS FIXES. La solution la plus simple consiste à coller les cellules sur les parois du satellite, souvent de forme cylindrique. La moitié du générateur se trouvant toujours dans l'ombre, la puissance disponible dépasse rarement un millier de watts, ce qui suffit cependant pour certaines missions.
On accroît la puissance en recouvrant de cellules des panneaux rigides extérieurs au corps du satellite : ils sont repliés pour le lancement et *déployés en* orbite.
GÉNÉRATEURS ORIENTABLES. Un progrès a consisté à rendre orientable le générateur par un système d'entraînement qui le maintient sans cesse face au Soleil.
Aujourd'hui, les satellites géostationnaires de télécommunications possèdent deux grandes « ailes » rigides couvertes de cellules

solaires qui, une fois déployées, leur donnent une envergure de 20 à 30 m. Elles leur assurent une puissance électrique de 7 à 8 kW en début de vie (et de 5 à 6 kW en fin de vie).
Le télescope spatial Hubble* est porteur du premier générateur solaire conçu pour un remplacement en orbite : ses deux ailes souples (de 29 m^2 chacune), couvertes de 48 760 cellules solaires, ont été échangées une première fois en décembre 1993.

GEO (sigle de *Geostationary Earth Orbit).* Sigle courammektútilisé pour désigner l'orbite des satellites géostationnaires.

géocentrique adj. Relatif à un système de coordonnées dont l'origine est le centre de la Terre.

géocentrisme n.m. Système astronomique d'après lequel on considérait la Terre comme le centre de l'Univers autour duquel tournaient les autres astres. Ce fut le système de Ptolémée (IIe s. apr. J.-C.), qui fit autorité jusqu'au XVIe siècle.

géocouronne n.f. Enveloppe d'hydrogène atomique qui constitue la région la plus élevée de l'atmosphère terrestre, appelée *exosyhère.* Elle commence vers 400 à 500 km d'altitude et s'étend jusqu'à 15 rayons terrestres environ (près de 100 000 km) autour du globe.

géocroiseur n.m. Astéroïde dont l'orbite autour du Soleil est suffisamment allongée pour croiser celle de la Terre.
Les astéroïdes de ce type constituent des dangers potentiels pour notre planète.

géodésie spatiale. Science utilisant les satellites artificiels afin d'étudier la forme de la Terre, sa structure interne, son mouvement de rotation, son champ de pesanteur (variations et anomalies).
bjcycl. La mesure de notre planète (objet de h géodésie) est une préoccupation très antienne. Pendant des siècles, les cartographes durent se contenter de méthodes d'arpentage pour localiser et raccorder des points remarquables (repères) de la surface du g)obe. Mais l'ère spatiale a donné à la géodésie un nouvel outil qui accroît ses possibilités : les satellites artificiels. Il existe deux façons de les utiliser :
- soit en tant que repères élevés, donc visibles simultanément de régions très éloignées les unes des autres. Les réseaux de triangulation n'ont plus 30 km mais plusieurs milliers de kilomètres de côté (géodésie géométrique) ;
- soit en tant que projectiles évoluant dans le champ de gravité de la Terre et soumis à diverses perturbations (dues à la forme et à la structure interne de la Terre, au frottement atmosphérique, à la pression de radiation solaire, aux effets lunisolaires...) qui se répercutent sur leurs trajectoires. L'analyse des orbites et des perturbations permet de modéliser les forces (gravitationnelles et autres) qui agissent sur les satellites et de localiser les stations d'observation (géodésie dynamique).
TECHNIQUES. Plusieurs techniques ont été utilisées depuis les débuts de l'ère spatiale :
- la photographie sur fond d'étoiles (pour la localisation des stations au sol) ;
- la télémétrie laser (pour la mesure de distances Terre-satellite ou Terre-Lune avec une précision qui est passée de 2 m vers 1967 à quelques centimètres aujourd'hui) ;
- les mesures Doppler (pour la localisation de repères fixes ou mobiles), dont la précision, en trente ans, est passée de 50 à 0,3 mm/s ;
- l'altimétrie spatiale (pour la mesure directe, par radar, de l'altitude d'un satellite au-dessus de la surface des océans).
QUELQUES RÉSULTATS. Les résultats obtenus par la géodésie spatiale intéressent divers aspects des sciences de la Terre :
- la géodésie (réalisation de réseaux géodésiques, aide à la localisation, à la navigation et à la cartographie) ;
- la géophysique interne (connaissance du champ de gravité donnant des informations sur la structure de la lithosphère et du manteau, et sur la convection, connaissance de la rotation terrestre, des marées, du champ magnétique...), l'océanographie dynamique (courants, marées, tourbillons, variations du niveau de la mer, etc.). D'autres domaines, scientifiques ou techniques, exploitent également ses données, par exemple la trajectographie des satellites, l'astrométrie et la mé-

canique céleste (évolution du système Terre-Lune) et la planétologie.

géoïde n.m. Surface théorique particulière caractérisée par la constance du potentiel de pesanteur terrestre en rotation.
ENCYCL. Le géoïde coïncide avec le niveau moyen des océans supposés au repos (c'est-à-dire en faisant abstraction des marées, des vents, des courants, etc.) et, en zone continentale, avec son prolongement défini mathématiquement. Il s'écarte assez peu (d'une centaine de mètres au maximum) de l'ellipsoïde de révolution auquel on assimile généralement la forme sphérique, légèrement aplatie aux pôles, de la planète Terre. Le géoïde est une surface très irrégulière, parsemée de « trous » et de « bosses » qui reflètent les variations locales et régionales de gravité. Il constitue l'équipotentielle de référence (donc l'altitude zéro) pour la mesure des altitudes en géodésie. Par extension, on parle des géoïdes lunaire, martien, etc.

géophysique n.f. Étude de la Terre par les méthodes de la physique.
ENCYCL. On distingue la *géophysique interne,* qui s'intéresse à la surface et à l'intérieur de la Terre, et la *géophysique externe,* qui étudie les propriétés physiques de l'environnement terrestre, depuis les basses couches de l'atmosphère jusqu'au milieu interplanétaire : cette dernière inclut en particulier l'aéronomie terrestre et l'étude de l'ionosphère, de la magnétosphère ou des relations Soleil-Terre, auxquelles l'instrumentation spatiale apporte désormais une contribution fondamentale.

GEOS (sigle de *Geodynamic Expérimental Océan Satellite).* Satellites américains de géodésie.
ENCYCL. Trois satellites GEOS ont été lancés, par des fusées Delta, respectivement en 1965, 1968 et 1975. Ils ont fourni des mesures précises de la forme de la Terre et de son champ de gravité. GEOS 1 et GEOS 2 appartenaient à la famille des satellites Explorer*.

GEOS (sigle de *Geostationary Earth Orbiting Satellite).* Satellites de l'Agence spatiale européenne qui étaient destinés à l'étude de la magnétosphère terrestre à partir de l'orbite géostationnaire.
ENCYCL. GEOS 1 et GEOS 2 ont été lancés par des fusées américaines Thor-Delta, respectivement en 1977 et 1978. Le premier n'a pu atteindre l'orbite prévue à cause d'une défaillance du troisième étage de son lanceur, mais il a néanmoins fourni des données jusqu'en 1979. Le second a fonctionné jusqu'en 1981. Ses observations faites à proximité de l'équateur géomagnétique se sont révélées particulièrement intéressantes. Il a joué aussi un rôle important dans l'identification de la composition et du mouvement du plasma entourant la magnétosphère. GEOS 1 et GEOS 2 ont apporté une contribution importante au programme international d'étude de la magnétosphère qui s'est déroulé à la fin des années 70.

GEOS (sigle de Groupe Européen d'Observations Stellaires). Groupe d'observateurs d'étoiles variables né en 1973 de la fusion de plusieurs petits groupes européens (France, Belgique, Espagne et Italie).
ENCYCL. Il rassemble une centaine d'observateurs qui réalisent globalement environ 100 000 mesures chaque année.
ADRESSE : 12, rue Bezout, 75014 Paris.

géostationnaire adj. Se dit d'un satellite géosynchrone qui décrit une orbite directe, équatoriale et circulaire.
ENCYCL. Aux yeux d'un observateur terrestre, les sateËites géostationnaires apparaissent fixes dans le ciel parce qu'ils tournent à la même vitesse angulaire (autour du même axe et dans le même sens) que la Terre. L'orbite qu'ils décrivent, appelée orbite géostationnaire, est unique ; son altitude est d'environ 35 800 km. C'est l'écrivain britannique Arthur C. Clarke qui, le premier, en 1945 *(Extra-Terrestrial Relays, Wireless World)* pressentit l'intérêt de ce type de satellites en tant que relais extraterrestres, en particulier pour les radiocommunications à l'échelle mondiale. Le lancement du satellite américain Syncom 1, le 14 février 1963, constitua la première tentative pour atteindre l'orbite géostationnaire, mais ce n'est qu'avec Syncom 3, en août 1964, que la réussite fut totale. Depuis, les lancements de satellites géostationnaires se sont multipliés.

géosynchrone adj. Se dit d'un satellite de la Terre lorsque sa période de révolution est très proche de 24 heures, période de la rotation terrestre.

Geotail. Satellite japonais chargé d'étudier la queue magnétique de la Terre. **magnétosphère**
ENCYCL. Lancé le 24 juillet 1992 de cap Canaveral, par une fusée américaine Delta, il a été placé sur une orbite ayant son apogée à 341 000 km de la Terre.

GEPAN (sigle de Groupe d'Études des Phénomènes Aérospatiaux Non identifiés). Groupe créé en 1977 par le Centre national d'études spatiales en vue de recherches et d'enquêtes sur les phénomènes célestes insolites, notamment les objets volants non identifiés (OVNI). Il a été dissous en 1988 mais sa mission a été confiée à un nouveau service du CNES, le SEPRA.

Giacobinides. Essaim de météorites provenant de la comète Giacobini-Zinner, ou météores associés, observables le 9 octobre avec une périodicité voisine de 6 ans, et dont le radiant se situe dans la constellation du Dragon. On les appelle aussi Draconides.

Giacobini-Zinner (comète). Comète périodique découverte en 1900 par le Français M. Giacobini et retrouvée en 1913 par l'Allemand Zinner.
ENCYCL. Elle tourne autour du Soleil en 6,52 ans, dans le sens direct, sur une orbite inclinée de 32,9° par rapport à l'écliptique. Elle passe tous les 13 ans à proximité de la Terre et peut alors engendrer des pluies d'étoiles filantes assez spectaculaires (Giacobinides*). C'est la première comète à avoir été survolée par une sonde spatiale : la sonde américaine ICE*, qui, le 11 septembre 1985, a traversé sa queue et est passée à 8 000 km environ de son noyau. Les mesures effectuées alors ont révélé que la queue de gaz de la comète était beaucoup plus large qu'on ne le prévoyait et qu'il n'existait pas d'onde de choc dans la zone d'interaction entre le vent solaire et la comète.

gibbeux, euse adj. (du latin *gibbus,* bosse). Se dit de l'aspect d'un astre du système solaire dont la surface éclairée visible occupe plus de la moitié du disque. Pour un observateur terrestre, la Lune apparaît en phase gibbeuse entre le premier quartier et la pleine lune, et entre la pleine lune et le dernier quartier; la planète Mars se présente toujours sous un aspect gibbeux.

GIFAS (sigle de Groupement des Industries Françaises Aéronautiques et Spatiales). Syndicat professionnel regroupant plus de 200 entreprises (100 500 salariés) de l'industrie aérospatiale française.
ENCYCL. Issu d'une Chambre syndicale créée en 1908, il a pour missions essentielles d'étudier et de défendre les intérêts de la profession, de la représenter auprès des instances gouvernementales, de coordonner l'activité industrielle et l'action économique de ses membres, d'organiser des concours et expositions, en particulier le Salon international de l'aéronautique et de l'espace du Bourget.
ADRESSE : 4, rue Galilée, 75782 Paris Cedex 16.

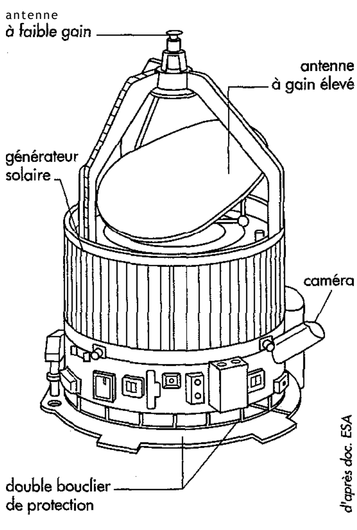
Gill (sir David), astronome et géodésien écossais (Aberdeen 1843 - Londres 1914). On lui doit une carte photographique du ciel austral (1885-1891) et une détermination de la parallaxe du Soleil.

Ginga (mot japonais signifiant *voie lactée* ou *galaxie).* Satellite japonais d'astronomie X.
ENCYCL. Il a été lancé le 5 février 1987 (sous le nom d'ASTRO-C) et placé sur une orbite de 528 km de périgée et 593 km d'apogée, inclinée de 31,2° sur l'équateur et parcourue en 96 minutes. D'une masse de 420 kg, il était équipé d'un ensemble de huit détecteurs de rayons X, le LAC (*Large Area Counter),* offrant une surface collectrice de 0,45 m^2. Il est retombé dans l'atmosphère le 1er novembre 1991.

Giotto (en hommage au peintre italien Giotto, qui semble avoir représenté la comète de Halley sur son *Adoration des mages,* peinte en 1303-1304 dans la chapelle des Scrovegni, à Padoue). Sonde européenne d'exploration de la comète de Halley, lancée le 2 juillet 1985 par une fusée Ariane 1.
ENCYCL. D'une masse de 960 kg, elle était

destinée à étudier la chevelure interne et le noyau de la comète. Stabilisée par rotation autour de l'axe tangent à la trajectoire de survol, elle était dotée d'un bouclier protecteur à deux couches, l'une pour vaporiser les grains de poussières rencontrés, l'autre pour arrêter les gaz résultants. Les instruments embarqués comprenaient : une chambre photographique à petit champ (1 m de focale, 16 cm de diamètre), trois spectromètres de masse, deux analyseurs de plasma, un détecteur d'impact de poussières, une sonde optique photopolarimétrique, un magnétomètre et un détecteur de particules.
Le survol de la comète a eu lieu le 14 mars 1986, à une distance minimale du noyau de 605 km, avec une vitesse relative de 68,4 km/s (près de 250 000 km/h). Plus de 2 000 photographies ont été prises, à des distances du noyau comprises entre 767 000 et 1 350 km. Malgré une brève interruption de la télémesure après le survol, en raison des mouvements de précession et de nutation de la sonde autour de son axe, la mission s'est parfaitement déroulée, et six expériences ont survécu à la traversée de la chevelure. En 1990, la sonde est repassée à moins de 20 000 km de la Terre et, avec l'assistance gravitationnelle de la planète, sa trajectoire a été réorientée en direction de la comète Grigg-Skjellerup, qu'elle a survolée d'une distance de moins de 200 km le 10 juillet 1992.

Sonde européenne **Giotto**



Girafe (en latin *Camelopardalis, -is).* Constellation boréale.
Elle s'étend depuis le voisinage du pôle céleste nord jusqu'aux constellations de Persée et du Cocher, au sud.
ENCYCL. Au XVIIIe siècle, ses parties occidentales, en bordure de Cassiopée et de Céphée, furent divisées en deux autres constellations, qui n'ont pas été conservées dans la nomenclature moderne : le Messier* (le Moissonneur), créé par Lalande en 1774 pour honorer la mémoire de l'astronome Charles Messier, célèbre découvreur de comètes, et le Renne, introduit en 1776 par Le Monnier en souvenir d'un voyage qu'il avait effectué dans les régions polaires. La Girafe ne renferme que des étoiles peu brillantes, la plus lumineuse étant de magnitude apparente 4,2. L'étoile Z *Cam* est le prototype d'une famille d'étoiles variables éruptives du type « novae naines ».

GIRD (sigle d'une locution russe signifiant *Groupe pour l'étude de la propulsion par réaction).* Organismes créés par l'Administration soviétique en 1931 à Moscou (MosGIRD) et à Leningrad (LenGIRD), puis à Kharkov, à Bakou et en diverses autres villes pour rassembler les compétences et développer les recherches dans le domaine de la propulsion par fusées.
ENCYCL. Ces structures relevaient de l'Ossoaviakhim, un organisme soviétique de promotion des recherches dans les domaines de la défense, de l'aéronautique et de la chimie. En 1932, l'Ossoviakhim créa à Moscou un nouveau GIRD, chargé des recherches et des études techniques concernant les propulseurs et les fusées. Présidé par S. Korolev, ce nouvel organisme intégra le premier MosGIRD, créé l'année précédente et dirigé par F. Tsander. Pépinière de savants et d'ingénieurs, il fut, avec le Laboratoire de dynamique des gaz (GDL), à la base de l'essor des fusées soviétiques. Financé par l'Office des inventions militaires (RKKA), il comportait trois sections : la première pour l'étude et la mise au point de missiles balistiques à propergol liquide, la deuxième pour

la réalisation de statoréacteurs et d'installations d'essais de dynamique des fluides, la troisième pour l'étude d'avions à réaction et de missiles dotés de voilure. La première fusée expérimentale, à propergol hybride conçue et réalisée par le GIRD fut lancée le 17 août 1933. Haute de 2,4 m pour un diamètre de 18 cm, et pesant 19 kg au décollage, elle emportait 5 kg de propergol. Son moteur fonctionnait avec de l'oxygène liquide amené sous la pression de sa propre vapeur dans une chambre de combustion garnie d'essence gélifiée et il délivrait une puissance de 24,5 à 32 daN. Elle atteignit 400 m d'altitude. En 1933 et 1934, neuf exemplaires de cette fusée furent construits. L'un d'eux atteignit 1 500 m d'altitude. Le 25 novembre 1933, le GIRD lança la première fusée soviétique à deux ergols liquides, la GIRD-X. Haute de 2,2 m et pesant 29,5 kg au décollage, elle emportait 8,3 kg de propergol (oxygène liquide et alcool éthylique) et délivrait une poussée de 65 aaN. La fusée s'éleva jusqu'à 70-80 m puis, déviant brusquement, retomba à 150 m du point de lancement.
Les activités du GIRD et du Laboratoire de dynamique des gaz couvrant des domaines voisins, les deux organismes furent regroupés en septembre 1933 pour donner naissance à l'Institut de recherches scientifiques sur la propulsion à réaction (RNII), le premier du genre dans le monde, au sein duquel V. Glouchko mit au point de 1933 à 1938 une série de moteurs-fusées à propergol liquide, les moteurs ORM 53 à ORM 102, délivrant des poussées de 80 à 600 daN. Un alignement de cratères, long de 520 km, sur la face arrière de la Lune, a reçu le nom de *Gird.*

Glenn (John Herschel), officier de marine, pilote militaire et astronaute américain (Cambridge, Ohio, 1921).
Après sa sortie de l'école de pilotes d'aviation du centre d'entraînement de FUS Navy dans le Texas, en 1943, il a servi dans différentes unités de l'Aéronavale. Sélectionné par la NASA comme astronaute en 1959, il a été le premier Américain à accomplir un vol orbital, le 20 février 1962, effectuant trois révolutions autour de la Terre en 4 h 55 min à bord de la cabine Mercury MA-6. Il a quitté la NASA en 1964 et a été sénateur démocrate de l'Ohio de 1974 à 1998. En retournant dans l'espace à 77 ans, du 29 octobre au 7 novembre 1998, à bord de la navette américaine, il est devenu le vétéran des astronautes.

glitch n.m. (mot anglais). Variation soudaine et temporaire de la période de rotation d'un pulsar*. Ce phénomène serait provoqué par un séisme dans la croûte d'une étoile à neutrons, d'où résulterait une brusque variation du moment d'inertie de l'étoile.

Global Change. Programme scientifique d'étude des changements de la Terre à l'échelle mondiale qui réunit deux sous-programmes complémentaires : le programme international géosphère-biosphère (PIGB) et le programme mondial de recherche sur le climat (WCRP, World Climate Research Program), lancé par l'Organisation météorologique mondiale.

Globalstar. Réseau mondial de téléphonie mobile et de radiolocalisation par satellites développé à l'initiative de la société américaine Loral Corporation.
ENCYCL. Lancé en 1994, ce projet est financé par neuf investisseurs internationaux : Loral Space Systems (filiale spatiale de Loral), Pactel (devenu Air Touch Communications) et Qualcomm aux États-Unis, Dacom et Hyundai Electronics en Corée du Sud, DASÂ en Allemagne, Alcatel en France, Alenia Spazio en Italie et Vodaphone au Royaume-Uni. Il prévoit l'utilisation d'une constellation de 56 satellites de 450 kg répartis par groupes de 8 sur six plans orbitaux à une altitude de 1 420 km, et dont la durée de vie sera de sept ans et demi. Ce réseau permettra de transmettre des conversations téléphoniques, des télécopies et des données informatiques ou de localiser des mobiles. Les satellites ne dialogueront pas entre eux, mais seront de simples relais. De ce fait, ils seront plus légers et moins complexes que ceux du réseau Iridium*. En revanche, le réseau nécessitera l'installation de plus d'une centaine de passerelles connectées aux réseaux terrestres et il ne couvrira pas les zones les moins peuplées du globe, comme les régions

polaires. Son exploitation doit débuter en 1999. Loral Space Systems assure la maîtrise d'œuvre des satellites, Qualcomm la conception des terminaux et Alcatel la conception et la fourniture des charges utiles.

globule n.m. Petite nébulosité sombre du milieu interstellaire, de forme circulaire, dont le diamètre apparent varie de quelques secondes d'arc à une dizaine de minutes.
ENCYCL. Découverts par B.J. Bok*, les globules apparaissent sombres, par contraste avec certaines nébuleuses brillantes. Leur observation dans l'infrarouge et le domaine radio montre qu'ils sont associés dans le milieu interstellaire aux zones de formation d'étoiles. Ils ont quelques années de lumière de diamètre et une masse comprise entre 1 et 200 fois celle du Soleil. On les regardait naguère comme des embryons d'étoiles (en contraction gravitationnelle) mais cela ne semble pas être le cas.

globule cométaire. Petite nébuleuse sombre généralement associée à une très jeune étoile, dont l'aspect rappelle celui d'une comète, avec une tête au bord brillant (en raison d'un phénomène d'ionisation) et une longue queue diffuse (pouvant s'étendre sur 10 années-lumière).

Glonass (acronyme de *GLObal NAvigation Satellite System*). Système russe de navigation par satellites, mis en place de 1982 à 1995.
ENCYCL. Analogue au système américain GPS*, il comporte théoriquement 24 satellites en orbite (21 opérationnels et 3 en réserve), mais répartis sur 3 plans orbitaux inclinés de 64,8° sur l'équateur et séparés de 120°. Ces satellites (de 1,3 t) gravitent à 19 100 km d'altitude, avec une période de révolution de 11 h 15 min. Leurs performances sont comparables à celles du système GPS.

Glouchko (Valentin Petrovitch), ingénieur ukrainien (Odessa 1908-Moscou 1989).
Dès 1921, il commence à s'intéresser à l'astronautique et, à partir de 1923, il correspond avec K. Tsiolkovski. Après des études à l'université de Leningrad, il entre en 1929 au Laboratoire de dynamique des gaz, où il met au point le premier propulseur électrothermique puis une série de moteurs-fusées à propergol liquide appelés ORM (sigle du russe *Opytnyj Raketnyj Motor* : moteur-fusée expérimental), de plus en plus puissants. Après la fusion du Laboratoire de dynamique des gaz et du Groupe pour l'étude de la propulsion par réaction et *la* création de l'Institut de recherches scientifiques sur la propulsion par réaction (RNII), il poursuit ses travaux au sein de ce nouvel organisme, construisant des moteurs-fusées à acide nitrique et à kérosène. Puis, en 1939, il forme un groupe autonome qui réalise, à Moscou, des fusées d'assistance au décollage des avions. En 1941, il déménage à Kazan, où il fabrique des moteurs-fusées à propergol liquide qui, jusqu'en 1945, seront installés sur des avions militaires. Promu constructeur principal des moteurs-fusées des missiles balistiques à longue portée, en 1946, il construit ensuite une série de moteurs à propergol liquide destinés aux fusées de Korolev ou à celles de Yangel. En 1974, il devient constructeur général, et son organisation absorbe celle qui, sous la direction de Korolev, construit les stations orbitales Saliout.

GMS (sigle de *Geostationary Meteorological Satellite*). Satellites géostationnaires météorologiques japonais, également appelés Himawari (*tournesol,* en japonais), mis à poste, au-dessus du Pacifique, en 1977,1981,1984 et 1989.

GMT (abrév. de l'expression anglaise *Greenwich Mean Time,* temps moyen de Greenwich). Échelle de temps où les jours sont comptés de 0 à 24 h avec changement de quantième à midi.
ENCYCL. On utilise souvent, mais à tort, cette abréviation pour désigner l'heure d'un événement dans l'échelle de temps universel coordonné (UTC ou UT), sur laquelle sont fondés les fuseaux horaires et le temps légal des différents pays. En effet, dans l'échelle de temps universel, les jours sont comptés de 0 à 24 h avec changement de quantième à minuit.
L'emploi du sigle GMT, ou de son équivalent français TMG, comme synonyme des

sigles UT ou UTC est proscrit par l'Union astronomique internationale.

gnomon n.m. Cadran solaire primitif, constitué d'une simple tige, appelée style, dont l'ombre se projette sur une surface plane.
ENCYCL. Il présente un grave inconvénient pour la division du jour, à cause de la variation continuelle de la déclinaison du Soleil : pour une même heure, suivant la date considérée, la longueur de l'ombre n'est pas la même, non plus que sa direction, sauf celle de midi.

GNSS (sigle de 1' angl. *Global Navigation Satellite System,* système mondial de navigation par satellite). Système de localisation et de navigation par satellite développé par l'Agence spatiale européenne, la Communauté européenne et Eurocontrol pour améliorer le contrôle du trafic maritime et aérien.
ENCYCL. Avec GNSS 1 (alias EGNOS), qui a débuté en 1995, il s'agit d'accroître les performances du système américain GPS* et du système russe Glonass* en utilisant de nouveaux satellites géostationnaires comme les Inmarsat 3.
Avec GNSS 2 (alias Galileo), encore au stade des études préliminaires, il s'agira de s'affranchir des satellites russes et américains et de mettre en place, vers 2008, une constellation complète de satellites sous contrôle des autorités civiles européennes.

Goddard (Robert Hutchings), ingénieur et physicien américain (Worcester, Massachusetts, 1882 - Baltimore 1945).
Auteur de travaux sur la cristallisation et les gaz raréfiés, il est surtout connu comme l'un des précurseurs de la propulsion par fusées. Dès 1919, il exposa les résultats de ses études expérimentales et théoriques en ce domaine dans un ouvrage resté classique, *A Method of Reaching Extreme Altitudes,* et, le **16** mars 1926, à Worcester, il lança la première fusée à ergols liquides. Celle-ci fonctionna pendant 2,5 s et s'éleva à 12,5 m.

Godwin (Francis), évêque, écrivain et historien anglais (Hannington 1562 - Whitbourne 1633).
On lui doit, notamment, un récit de fiction astronautique, *The Man in the Moon, or a Discourse of a Voyage Thither* (« l'Homme dans la Lune ou Discours d'un voyage à ce monde »), publié en 1638, qui inspira Cyrano de Bergerac et dont le héros atteint la Lune (qu'il découvre habitée) et en revient dans un engin tracté par des oies sauvages.

GOES (sigle de *Geostationary Operational Environmental Satellite).* Satellites géostationnaires météorologiques américains utilisés pour la surveillance des océans Adantique et Pacifique.
Dix exemplaires ont été mis à poste de 1975 à 1997.

Gorizont (mot russe signifiant *horizon).* Satellites géostationnaires utilisés par la Russie pour les télécommunications intérieures et internationales. Plus de quarante exemplaires ont été lancés de 1978 à 1998.

Gould (ceinture de). Bande de la sphère céleste inclinée de 16° sur le plan de la Voie* lactée, qui contient un grand nombre d'étoiles brillantes.
ENCYCL. J. Herschel* fut le premier à signaler son existence, en 1847 ; elle fut étudiée ultérieurement (1879) par l'Américain Benjamin Gould, dont elle porte le nom. Elle inclut, entre autres, les étoiles brillantes d'Orion et du Taureau, dans l'hémisphère Nord, et celles du Loup et du Centaure dans l'hémisphère Sud. D'une façon générale, elle renferme de nombreuses étoiles chaudes, de types spectraux B ou O. Il s'agit sans doute d'une extension du bras spiral de la Galaxie le plus proche du Soleil.

goutte noire. Phénomène observable lors de la phase initiale ou terminale d'un passage de Mercure ou de Vénus devant le Soleil, quand le petit disque sombre de la planète, très proche du limbe solaire, semble lui être relié par une goutte noire.

GPS (sigle de *GlobalPositioning System,* système mondial de positionnement). Système de navigation par satellites décidé en 1973 par les Etats-Unis.
ENCYCL. Pleinement opérationnel depuis 1992, il comprend vingt-quatre satellites

Navstar à défilement (orbites circulaires, à 20 000 km d'altitude, de période 12 h) répartis dans six plans inclinés de 55° sur l'équateur. Sa. couverture est quasi mondiale et quasi permanente. Les premiers satellites opérationnels ont été lancés à partir de 1989.

Captant les signaux radio de quatre d'entre eux, tout utilisateur (véhicule terrestre, maritime, aérien ou spatial) peut connaître instantanément sa position (obtenue par mesure du temps de propagation de deux ondes radio entre un satellite et le mobile) et son heure locale.

Ce système militaire est accessible à des utilisateurs civils après dégradation volontaire des performances (de 50 à 100 m sur la localisation absolue, contre une dizaine de mètres pour les usagers militaires ; 0,2 m/s sur la vitesse et 0,4 microseconde sur la référence de temps).

Un complément européen géostationnaire est actuellement mis en place. -+ **GNSS**

Granat. Satellite de l'ex-URSS dédié à l'astronomie des hautes énergies.

ENCYCL. Pesant environ 5 t au lancement, il a été lancé le 1er décembre 1989 de la base de Tiouratam par une fusée Proton et placé sur une orbite très allongée, dont l'altitude varie de 2 000 à 200 000 km environ afin d'éviter les ceintures de rayonnement entourant la Terre, inclinée de 51,6° sur l'équateur et qu'il parcourt en 4 jours. Sa charge utile, de 2,2 t, comprenait trois télescopes (deux soviétiques et le français Sigma*) destinés à l'étude (imagerie, spectroscopie, étude de la variabilité temporelle) des sources quasi permanentes de rayonnements X et y dans une gamme d'énergie allant de 4 keV à 1,5 MeV, ainsi qu'un ensemble d'instruments (2 soviétiques, 1 français, 1 danois) destinés à l'étude détaillée des sources de rayonnement gamma. 11 a cessé de fonctionner en septembre 1994.

grandeur n.f. Nombre entier permettant de caractériser l'éclat apparent d'un astre dans une échelle de classification subjective ancienne. *Grandeur d'une- éclipse :* valeur maximale de la fraction éclipsée du diamètre du Soleil ou de la Lune lors d'une éclipse de l'un de ces deux astres. Si l'éclipsé est totale, la grandeur peut être supérieure à l.

ENCYCL. L'échelle des grandeurs, introduite par Hipparque, comporte six degrés, les étoiles les plus brillantes étant dites « de première grandeur » et les plus faibles visibles à l'œil nu, de « sixième grandeur ». Cette classification ancienne prête à confusion, car elle peut laisser croire qu'elle se rapporte aux dimensions des étoiles. En outre, elle ne s'applique qu'aux astres visibles à l'œil nu. Elle a donc été abandonnée et remplacée par l'échelle des magnitudes* apparentes.

granulation solaire. Réseau formé par l'ensemble des granules, sur la photosphère solaire.

granule n.f. Élément brillant, d'allure polygonale irrégulière, de faibles dimensions (environ 1 000 km) et de courte durée de vie (~ 8 min), observable en dehors des taches sur les images de la photosphère du Soleil obtenues en lumière blanche.

ENCYCL. Observées pour la première fois en 1748 par l'opticien anglais James Short et dénommées alors *grains de riz,* les granules forment un réseau continu en étant séparées les unes des autres par des espaces sombres de 0,5" environ, dans lesquels apparaissent les filigrees*.

gravifique adj. Qui concerne la pesanteur.

gravitation n.f. L'une des quatre interactions fondamentales de la physique, qui se traduit par des forces attractives entre tous les corps ayant une masse et dont Newton a le premier formulé la loi : deux corps ponctuels de masses m et m' situés à une distance r l'un de l'autre, s'attirent avec une force dirigée selon la droite qui les joint, et d'intensité proportionnelle aux masses et inversement proportionnelle au carré de la distance :

$$F = G \cdot m \cdot m'/r^2$$

(G est une constante universelle, appelée *constante de gravitation,* de valeur $G = 6{,}672 \cdot 10^{-11}\ N \cdot m^2 \cdot kg^{-2}$).

ENCYCL. Le champ de gravitation $\vec{g}$ en un point P de l'espace se définit à partir de la

force s'exerçant sur une masse *m* placée en ce point :
$\vec{F} = m\vec{g}$
g dépend donc de l'ensemble des masses qui agissent sur *m*, et de leurs distances par rapport à P. Un champ de gravitation tel que la valeur de $\vec{g}$ ne dépende pas de la position de P est appelé *champ uniforme.*
Historiquement, l'importance de la loi de gravitation a été considérable : elle a permis d'unifier les théories de la chute des corps, du mouvement des planètes et des autres astres, donnant ainsi à la mécanique céleste des fondements quantitatifs clairs.
La théorie de la relativité* intègre la gravitation dans un cadre géométrique, dans lequel un champ de gravitation est interprété comme une courbure de l'espace-temps produite par la présence de masse.
La gravitation est le phénomène prépondérant qui commande l'évolution de la matière dans l'Univers.

gravitationnel adj. Qui concerne la gravitation.

gravité n.f. Force de gravitation exercée par un astre sur un corps quelconque.

graviter v.i. Se mouvoir selon les lois de la gravitation.
ENCYCL. Tous les corps célestes gravitent : les planètes, les satellites (artificiels ou naturels), les comètes, les étoiles, les galaxies, etc.

Greenwich (observatoire royal de). Observatoire anglais fondé en 1675 par le roi Charles II dans le parc de Greenwich, au sud-est de Londres.
ENCYCL. Le bâtiment primitif fut construit sous la direction de l'architecte Christopher Wren, à qui l'on doit aussi la cathédrale St Paul de Londres. En 1887, le site de l'observatoire a été choisi pour définir le méridien origine international. En 1957, l'observatoire a été transféré à Herstmonceux (Sussex), en un site plus favorable, les bâtiments de Greenwich étant transformés en un musée. En 1986, pour des raisons techniques et financières, a été décidé un nouveau transfert de l'observatoire, à l'université de Cambridge, qui a eu lieu en 1990. Les observations s'effectuent désormais essentiellement à l'observatoire de Roque* de los Muchachos, aux Canaries. Sur le plan administratif, l'observatoire royal de Greenwich a cessé d'exister le 31 octobre 1998. La gestion des télescopes britanniques utilisés pour la recherche est désormais assurée par l'observatoire royal d'Édinbourg.

grégorien, enne adj. *Année grégorienne :* année dont la durée est conventionnellement fixée à 365,242 5 jours (valeur moyenne de l'année dans le calendrier grégorien). *Calendrier grégorien :* calendrier* issu de la réforme instaurée par le pape Grégoire XIII en 1582.

Gregory (James), mathématicien et astronome écossais (Drumoak, près d'Aberdeen, 1638 - Édimbourg 1675). En astronomie, il préconisa de substituer aux instruments d'observation à lentilles (lunettes) des instruments à miroirs (télescopes), qui donnent des images dépourvues d'aberration chromatique, et il conçut un télescope à miroir secondaire concave (1663).

Grifiith (observatoire). Observatoire d'éducation populaire, construit selon le vœu du colonel américain J. Griffith, administré et financé par la ville de Los Angeles. Inauguré en 1935, il comprend notamment un planétarium, une salle d'exposition et un télescope de 30 cm d'ouverture.

Grigg-Skjellerup (comète). Comète à courte période découverte en 1902 par le Néo-Zélandais J. Grigg et retrouvée en 1922 par le Sud-Africain J.F. Skjellerup.
ENCYCL. Son aphélie est situé à 4,93 ua du Soleil. Depuis sa découverte, cette comète est passée à trois reprises près de Jupiter, ce qui a sérieusement perturbé son mouvement. Son périhélie est ainsi passé de 0,75 à 0,99 ua du Soleil (et se situe donc, à présent, juste à l'intérieur de l'orbite terrestre), tandis que sa période orbitale passait de 4,8 à 5,1 ans et son inclinaison par rapport au plan de l'écliptique, de 8 à 21°. C'est un spécimen de « vieille » comète, appauvrie en matériaux volatils par ses nombreux passages près du Soleil. Elle a été étudiée par la sonde européenne Giotto* qui est passée à quel-

que 200 km seulement de son noyau, le 10 juillet 1992.

Grimaldi (Francesco Maria), jésuite et physicien italien (Bologne 1618 - *id.* 1663). 11 fit paraître, avec Riccioli, en 1651, une carte de la Lune, dont la nomenclature est toujours utilisée.

GRO (sigle de *Gamma-Ray Observatory)* **-t Compton (observatoire de rayonnement gamma)**

grossissement n.m. Rapport du diamètre apparent de l'image fourmie par un système optique à celui de l'objet observé.
ENCYCL. Pour une lunette astronomique ou un télescope, le grossissement s'exprime par le rapport de la distance focale de l'objectif à celle de l'oculaire. Pour faire varier le grossissement, il suffit donc de changer l'oculaire : plus l'oculaire utilisé a une courte focale, plus le grossissement est important. Le grossissement *G* s'exprime aussi par le rapport du diamètre *D* de l'objectif au diamètre *d* de l'anneau oculaire (ou cercle* oculaire), ce dernier étant appelé *pupille de sortie.* On appelle *grossissement minimal* celui qui assure une pupille de sortie égale à la pupille de l'œil dans l'obscurité, soit environ 6 mm : $G_{min} \sim D_{(mm)}/6$. On appelle *grossissement résolvant* le plus petit grossissement qui permette théoriquement de distinguer tout ce que contient l'image donnée par l'objectif, c'est-à-dire tout ce que le pouvoir séparateur de l'instrument permet d'observer. Ce grossissement est compris entre 1 et 1,2 fois le diamètre D de l'objectif, exprimé en millimètres : $D_{(mm)}$ (G_{res} (1,2 • D(mm). Enfin, on appelle *grossissement maximal* celui qui permet de voir confortablement tout ce que contient l'image donnée par l'objectif : ce grossissement représente à peu près 2,5 fois le diamètre de l'objectif exprimé en millimètres : $G_{max} = 2{,}5 \cdot D_{(mm)}$. Le grossissement minimal, qui exige un oculaire à grande focale, peut servir pour les recherches ; il est très utile pour l'observation des étoiles variables et des astres étendus ou peu contrastés (amas, nébuleuses et galaxies). Le grossissement résolvant est idéal pour la Lune, les planètes peu contrastées (Jupiter, Saturne) et les étoiles doubles. Un fort grossissement est utile pour l'observation des détails de la surface lunaire, de la planète Mars ou des étoiles doubles. Le grossissement maximal peut servir à l'observation d'étoiles doubles très serrées, lorsque la turbulence atmosphérique est très faible.

Groupe local. Petit amas de galaxies auquel appartient la Galaxie.
ENCYCL. Il comprend une trentaine de membres, parmi lesquels les Nuages de Magellan* et la galaxie M 31 d'Andromède*, répartis dans un volume ellipsoïdal d'environ 7 millions d'années de lumière d'extension maximale. Il contient deux sous-groupes assez nettement séparés : l'un autour de la Galaxie et des Nuages de Magellan, l'autre autour des galaxies M 31 d'Andromède et M 33 du Triangle. La plupart de ses membres sont des galaxies naines elliptiques ou sphéroïdales. Sa masse totale est estimée à 650 milliards de fois celle du Soleil. Il est situé à la périphérie d'un ensemble de galaxies beaucoup plus important, le Superamas* local.

groupe n.m. Petit amas de galaxies qui comporte typiquement une à deux dizaines de membres.

Gru. Abréviation de *Grus,* désignant la constellation de la Grue.

Grue (en latin *Grus, -uis).* Constellation australe, au sud du Poisson austral.
ENCYCL. Son étoile la plus brillante est Alnaïr*. Les étoiles Sj et 5_2 Gru, de magnitude 4 environ, forment un couple optique facilement séparable à l'œil nu. Avec un télèscope d'au moins 100 mm, on peut distinguer, dans l'angle nord-est de la constellation, les galaxies les plus lumineuses de l'amas de la Grue.

grumeaux (galaxies à). Classe particulière de galaxies de Markarian au sein desquelles on distingue des formations très brillantes d'aspect grumeleux.
ENCYCL. Le spectre optique de ces grumeaux présente des raies d'émission caractéristiques des régions H II, c'est-à-dire des nébuleuses d'hydrogène ionisé par le rayonne-

ment ultraviolet d'étoiles jeunes et très chaudes. Mais leur diamètre (jusqu'à 3 000 années de lumière), leur luminosité, leur contenu en hydrogène neutre et leur masse (100 millions de fois au moins celle du Soleil) en font des objets d'une nature exceptionnelle. Les observations révèlent, en outre, qu'il s'agit d'objets extrêmement jeunes à l'échelle cosmique : chacun renferme une à plusieurs dizaines de milliers d'étoiles âgées de 10 à 20 millions d'années seulement. Ces grumeaux semblent être de gigantesques creusets d'étoiles nouvelles. Leur formation pourrait résulter de la collision entre deux galaxies d'un même amas, ou d'effets de marée dus à l'attraction gravitationnelle de galaxies voisines.

Grus (-is). Nom latin de la constellation de la Grue (abrév. *Gru).*

GSL.V (sigle de l'angl. *Geostationary Satellite Lauch Vehicle,* lanceur pour satellite géostationnaire). Lanceur spatial indien.
ENCYCL. Ce lanceur comprend trois étages (un premier à poudre, un deuxième à ergols liquides, un troisième cryotechnique : hydrogène et oxygène) et quatre propulseurs d'appoint à liquides. Haut de 51 m, pesant 400 t au décollage, il peut placer 1,5 t (puis 2,5 t ultérieurement) en orbite de transfert géostationnaire. Sa mise en service est prévue en 2000.

GTO (sigle de *Geostationary Transfer Orbit,* orbite de transfert géostationnaire). Orbite provisoire décrite par les satellites appelés à devenir géostationnaires.
ENCYCL. Pour les lancements Ariane 5, cette orbite est du type 1 000 km - 36 000 km. Les satellites la quittent par mise à feu de leur moteur d'apogée.

guerre des étoiles. Appellation sous laquelle a été popularisé l'ex-projet américain d'Initiative* de défense stratégique (IDS).

guidage n.m. Processus visant à assigner une trajectoire à un véhicule aéronautique ou spatial par référence à une trajectoire donnée, à un but assigné ou à une loi de mouvement déterminée (loi de guidage).

Guidoni (Umberto), astrophysicien et astronaute italien (Rome 1954). Membre du corps des astronautes européens depuis août 1998, il devrait être le premier Européen à visiter la Station spatiale internationale, avec la navette américaine, au cours d'une mission (STS 102) prévue en avril 2000.

Gum (nébuleuse de). Vaste nébuleuse du ciel austral, découverte en 1955 par l'Australien Colin Gum sur des photographies prises avec le télescope de Schmidt de l'observatoire anglo-australien de Siding Spring.
ENCYCL. Presque circulaire, elle s'étend sur près de 40° de diamètre apparent. Sa distance est évaluée à quelque 1 300 années de lumière et son diamètre, à 800 années de lumière. Les observations montrent qu'il s'agit d'une enveloppe de gaz en expansion à la vitesse de 20 km/s. Son origine reste controversée. Selon l'hypothèse qui paraît la plus plausible, il s'agirait d'un reste de supernova dont l'explosion remonterait à 1 million d'années au moins. La présence, au sein de la nébuleuse, d'une association* d'étoiles de types spectraux O et B, chaudes et fortement émettrices de rayonnement ultraviolet, expliquerait la luminosité actuelle du gaz issu de l'explosion qui, normalement, aurait dû suffisamment se refroidir pour n'être plus visible.

gyromètre n.m. Capteur gyroscopique à un ou plusieurs degrés de liberté, utilisé pour la mesure des vitesses angulaires.
ENCYCL. Le fonctionnement de certains gyromètres, appelés *gyrolasers,* se fonde sur la propagation de la lumière cohérente. Les gyromètres servent, notamment, au contrôle d'attitude des engins spatiaux.

h

H (raie). L'une des principales raies du spectre visible du calcium ionisé, dans le violet, à 393,4 nanomètres de longueur d'onde. Avec la raie K* voisine, elle se détache, en absorption, dans le spectre de nombreuses étoiles, en particulier dans celui du Soleil ; elle a conservé le nom que lui donna J. von Fraunhofer* après qu'il l'eut identifiée dans le spectre solaire.

Ha. Première raie spectrale de la série de Balmer*.

H. Lanceur spatial japonais.
ENCYCL. La version H 1, utilisée de 1986 à 1992, est à présent abandonnée. Elle comportait deux ou trois étages selon les missions. Le modèle le plus performant (deux premiers étages à propergol liquide, un troisième étage et neuf propulseurs d'appoint à poudre) pesait 140 t au décollage. Il pouvait placer 1,11 en orbite de transfert géostationnaire (soit 550 kg sur l'orbite géostationnaire) et 2,2 t en orbite circulaire à 1 000 km. Neuf exemplaires ont été lancés avec succès. La version H 2, utilisée à présent, est plus puissante. Haute de 51 m pour un diamètre de 4 m, pesant 280 t au décollage, elle peut - grâce à deux étages cryotechniques (hydrogène et oxygène) et à deux gros propulseurs d'appoint à poudre - placer près de 4 t sur l'orbite de transfert géostationnaire (soit 2 t sur l'orbite des satellites géostationnaires), de l'ordre de 4 t en orbite polaire à 700 km ou un petit planeur spatial (tel le projet japonais Hope) en orbite basse. Avec une poussée au sol de 900 kN, le moteur de son premier étage, LE-7, a des performances comparables à celles du moteur Vulcain (poussée de 100 000 daN) du lanceur européen Ariane 5. Le premier vol d'essai du lanceur H 2 a été réussi le 4 février 1994. Quatre autres lancements réussis ont suivi (1994, 1995, 1996 et 1997). Une version améliorée, H 2A, est en développement.

habitacle n.m. Partie habitable d'un véhicule spatial, SYN. : *cabine*

Hadar. Autre nom de l'étoile *Agena**.

Haigneré 0ean-Pierre), officier de l'armée de l'air et spationaute français (Paris 1948). Sélectionné comme spationaute par le CNES en 1985, il est d'abord suppléant de M. Tognini* lors de la mission Antarès* en 1992, puis devient en juillet 1993 le quatrième spationaute français en participant à la mission Altaïr*. En février 1999, il est retourné dans l'espace pour la mission Perseus*.

Haie (George Ellery), astronome américain (Chicago 1868 - Pasadena, Californie, 1938). Inventeur *du* spectrohéliographe (1891), indépendamment de H. Deslandres*, il fut l'un des fondateurs de l'astrophysique solaire. Il établit, notamment, que les taches solaires constituent les sites d'émergence de boucles de champ magnétique à la surface du Soleil (1908) ; avec W.S. Adams*, il mit en évidence l'inversion des polarités magnétiques des taches, dans les groupes bipolaires, de part et d'autre de l'équateur solaire et d'un cycle d'activité de 11 ans au suivant (1919-1925). En 1891, il fonda le journal *Astronomy and Astrophysics,* devenu le prestigieux *Astrophysical Journal.* Il sut convaincre

quelques riches industriels et hommes d'affaires américains de financer l'équipement de grands observatoires aux États-Unis : ainsi, le magnat des tramways, Charles Yerkes, fit construire l'observatoire de l'université de Chicago et le dota de la plus grande lunette astronomique du monde (1,02 m de diamètre) ; le mécène Andrew Carnegie donna les fonds nécessaires pour construire l'observatoire du mont Wilson et, ensuite, pour développer le Caltech (California Institute of Technology) ; John D. Hooker, le roi californien de la quincaillerie, immortalisa son nom par la construction, au mont Wilson, du plus puissant télescope de l'époque (2,54 m de diamètre) ; enfin, la fondation Rockefeller, en 1928, finança la construction, au mont Palomar, d'un télescope géant de 5 m d'ouverture.

Haie (observatoires). Nom utilisé de 1970 à 1980 pour désigner un groupe d'observatoires américains comprenant celui du mont Palomar*, celui du mont Wilson*, celui de Big* Bear et celui de Las* Campanas.

Haie (télescope). Télescope de 5,08 m de diamètre mis en service en 1948 à l'observatoire du mont Palomar. Son miroir primaire, en Pyrex, pèse 20 t et sa mise au point (coulée, taille, polissage) a duré 11 ans ; jusqu'à la mise en service du télescope de 6 m de Zelentchouk*, ce fut le plus grand télescope du monde.

Hale-Bopp (comète), comète à très longue période découverte indépendamment le 23 juillet 1995 par les astronomes amateurs américains Alan Haie et Thomas J. Bopp. Nom officiel : C/1995 01.

ENCYCL. Lors de sa découverte, elle se trouvait à plus de 1 milliard de kilomètres du Soleil et se révélait déjà nettement plus lumineuse que la comète de Halley* à la même distance. Des observations ultérieures ont montré qu'elle possédait un volumineux noyau, de 40 km environ de diamètre. Les astronomes ont pu ainsi suivre son évolution sur une longue période de temps. Elle est passée au plus près du Soleil, à 0,91 ua de distance, le 1er avril 1997, quelques jours après être passée au plus près de la Terre, le 22 mars, à 1,32 ua. Pendant plusieurs semaines, elle a offert aux observateurs un magnifique spectacle, atteignant une magnitude maximale de - 0,5 environ, tandis que sa queue de gaz se déployait sur 20° environ et sa queue de poussières sur 25° (correspondant à des longueurs réelles de plus de 150 millions de kilomètres). On lui a découvert aussi une queue de sodium, qui s'étendait sur quelque 50 millions de kilomètres de long à la mi-avril 1997. Son orbite, inclinée de 89,4° sur l'écliptique et dont l'excentricité est de 0,995, ne la ramènera près du Soleil que dans 2 400 ans environ. On a pu établir que son noyau tourne sur lui-même en 11 h 34 min.

Halley (comète de). Célèbre comète périodique dont Edmond Halley calcula, le premier, l'orbite.

ENCYCL. L'aphélie de la comète se situe à 5 300 millions de kilomètres du Soleil, un peu au-delà de l'orbite de Neptune, et son périhélie, à 88 millions de kilomètres, entre l'orbite de Mercure et celle de Vénus. Sa période moyenne est de 76 ans, mais elle peut varier entre 74,7 et 79,1 ans sous l'action perturbatrice des planètes géantes, selon qu'elle passe près de l'une ou de l'autre. En calculant les dates de ses passages antérieurs au périhélie, on a pu l'identifier à diverses comètes mentionnées dans les chroniques anciennes.

OBSERVATIONS. La comète de Halley a peut-être été aperçue par les Chinois dès 467 av. J.-C., et même dès 1057 av. J.-C. Mais sa plus ancienne observation considérée comme certaine remonte à 240 av. J.-C. et l'on a retrouvé trace de toutes ses apparitions ultérieures. Son dernier retour près du Soleil, en 1986, était le trentième observé et le quatrième attendu depuis les travaux de Halley. À cette occasion, elle a, pour la première fois, été observée non seulement depuis le sol mais aussi depuis l'espace, par des satellites qui l'ont étudiée de loin et, surtout, par cinq sondes qui l'ont explorée in situ : deux sondes soviétiques Véga ; deux sondes japonaises, Suisei et Sakigake ; une sonde européenne, Giotto.

Ces engins avaient des missions complémentaires : alors que Giotto et les Véga avaient pour objectif essentiel l'étude de la chevelure et du noyau de la comète (avec

prise de vues du noyau), Suisei était équipée d'une caméra sensible à l'ultraviolet pour cartographier le halo d'hydrogène, et d'instruments pour l'étude du vent solaire et de son interaction avec l'atmosphère de la comète ; enfin, Sakigake était porteuse d'instruments complémentaires pour l'étude de la queue de plasma.

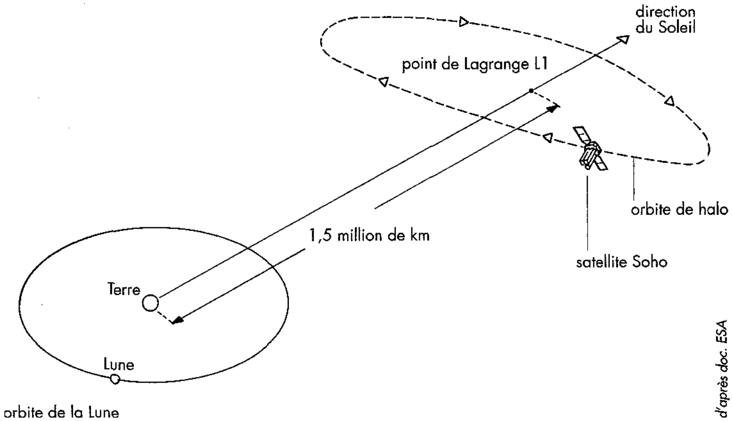
PRINCIPAUX RÉSULTATS. Les informations les plus attendues concernaient le noyau. Les observations ont apporté une éclatante confirmation au modèle de la « boule de neige sale » proposé en 1950 par l'Américain Fred Whipple. Les images obtenues ont toutefois montré que ce noyau n'est pas sphérique, mais qu'il ressemble à une grosse pomme de terre d'environ 16 km de long sur 8 km de large, très sombre (le pouvoir réfléchissant de sa surface n'excède pas 4 %), alors qu'on l'imaginait très brillant puisque constitué en majeure partie de glace. Sans doute sa surface est-elle recouverte d'une grenaille carbonée qui enrobe la glace sous-jacente. Cette surface est, au demeurant, très irrésulière : on y distingue des collines et des vallées ainsi que des structures annelées d'environ 0,5 km de diamètre qui correspondent vraisemblablement à des cratères par où s'échappent les gaz et les poussières issus du matériau sous-jacent. Car, ainsi qu'on le présumait, le noyau, chauffé par le rayonnement solaire, libère des bouffées de matière qui alimentent ensuite la chevelure et la queue. Mais ces émissions, limitées à l'hémisphère éclairé par le Soleil, ne parviennent que d'un petit nombre de régions actives, n'affectant que 10 % environ de la superficie totale.
Avec une densité moyenne comprise entre le dixième et le quart de la densité de la glace, le noyau s'avère moins dense qu'on ne le pensait.

L'étude des constituants du noyau d'après les molécules et les ions qu'il libère a montré, comme on le prévoyait, une nette prédominance de la vapeur d'eau, celle-ci représentant à elle seule, en volume, environ 80 % des gaz éjectés. Lors de son survol par Giotto, la comète éjectait cinq fois plus de gaz que de poussières, la production gazeuse approchant 20 tonnes par seconde.
Avant le survol de la comète, on pensait que les poussières libérées par le noyau devaient avoir une composition proche de celle des chondrites* carbonées. Les analyses, par spectrométrie de masse, ont donné des résultats très différents. Certaines poussières ont une composition proche de celle des silicates terrestres ; d'autres sont constituées principalement de carbone (C), d'hydrogène (H), d'oxygène (O) et d'azote (N), d'où le sigle « CHON » utilisé pour les désigner. Les sondes spatiales ont permis, enfin, une étude détaillée de l'interaction de la comète avec le vent solaire. C'est à plus d'un million de kilomètres du noyau que Giotto a commencé à déceler une perturbation du vent solaire par la comète. Puis, après avoir traversé dans la chevelure cométaire des flux de poussières beaucoup moins homogènes que prévu, la sonde a enregistré une intensité maximale du champ magnétique (voisine de 60 nanoteslas) à 16400 km du noyau pendant la phase d'approche, et à 8 200 km après la rencontre. Un peu moins mystérieuse, la comète de Halley s'éloigne maintenant tout à la fois de la Terre et du Soleil. Son prochain retour au périhélie est attendu pour le 29 juillet 2061.

Halley (Edmond), astronome et physicien anglais (Haggerston, Londres, 1656 - Greenwich 1742).
Auteur de nombreuses recherches concernant la géophysique, la météorologie et l'astronomie, il fut l'ami de Newton qu'il décida à publier ses *Principes mathématiques de philosophie naturelle.* Il reste surtout connu pour son étude du mouvement des comètes. Dans son *Synopsis d'astronomie cométaire* (1705), il identifia les comètes apparues en 1531 et 1607 à celle qu'il avait lui-même observée en 1682, montrant ainsi qu'il s'agissait d'une comète périodique, dont il prédit le retour en 1758. De 1720 à sa mort, il fut astronome royal et dirigea l'observatoire de Greenwich, succédant à J. Flamsteed.

halo (orbite en). Orbite d'un satellite artificiel qui gravite non pas autour d'un astre mais d'un point d'équilibre comme le point de Lagrange L_1; situé sur l'axe Soleil-Terre (à 1,5 million de kilomètres de celle-ci), où se compensent les forces gravitationnelles du Soleil et du système Terre-Lune et la force d'inertie d'entraînement. Cette région de

Orbite en **halo** que doit suivre le satellite européen Soho



l'espace se prête particulièrement bien à l'observation continue des phénomènes solaires.
ENCYCL. La sonde américaine ICE (ISEE 3), lancée en 1978, fut la première à décrire, pendant plus de trois ans, ce type d'orbite. De même, en 1995, la sonde européenne Soho* a été placée sur une trajectoire elliptique autour du point L1, dans un plan perpendiculaire à l'axe Terre-Soleil.

halo n.m. 1. Volume sphérique autour d'une galaxie spirale, peuplé d'étoiles vieilles groupées en amas globulaires qui gravitent autour du centre de la galaxie. **2.** Vaste enveloppe d'hydrogène atomique autour d'une comète.

Hamal (nom arabe signifiant *le bélier).* Étoile a du Bélier. Magnitude apparente visuelle : 2,0. Type spectral K2. Distance : 67 années de lumière.

Hammaguir. Siège, de 1961 à 1967, de la principale base du Centre interarmées d'essais d'engins spéciaux (CIEES) de Béchar, situé à une centaine de kilomètres au S.-O. de Béchar, dans le Sahara algérien. C'est de Hammaguir qu'a été testé le premier lanceur de satellite français Diamant en 1965. Le site a été rendu à l'Algérie en juillet 1967.

Haro (galaxies de). Type de galaxies, découvert par l'astronome mexicain Guillermo Haro, qui se caractérise par un excès d'émission de rayonnement dans le bleu.

Harvard College (observatoire du). Observatoire de l'université Harvard, à Cambridge (Massachusetts), aux États-Unis.
ENCYCL. Fondé en 1839, il eut pour premier directeur W.C. Bond* et fut équipé en 1847 d'un réfracteur de 38 cm d'ouverture. Sous l'impulsion de E.C. Pickering*, puis de H. Shapley*, il est devenu un centre de recherches en astrophysique très important. En 1973, il a fusionné avec le *Smithsonian* Astrophysical Observatory* pour donner naissance à un nouvel organisme, le *Harvard-Smithsonian Center for Astroyhysics.*

Hat Creek (observatoire). Observatoire radioastronomique situé en Californie et administré par le Laboratoire de radioastronomie de l'université de Californie, à Berkeley. Il comprend un radio-interféromètre formé de 3 antennes de 6 m de diamètre chacune et un radiotélescope de 26 m de diamètre opérant dans le domaine des ondes millimétriques.

Haute-Provence (observatoire de). Observatoire français d'astrophysique situé sur le territoire de la commune de Saint-Michel-l'Observatoire (Alpes-de-Haute-Provence), à 650 m d'altitude.
ENCYCL. Entré en service en 1945, il dépend

du CNRS. Il comporte notamment un télescope de 1,93 m d'ouverture (mis en service en 1958) et un télescope de 1,52 m (mis en service en 1969), équipés particulièrement en vue de la spectroscopie des étoiles et des galaxies.

hauteur n.f. Angle que forme la direction d'un astre (ou de son centre, s'il présente un diamètre apparent sensible) avec le plan horizontal. C'est l'une des deux coordonnées horizontales, l'autre étant l'azimut.

Hawaii (observatoire d') -»Mauna Kea (observatoire du).

Hawking (Stephen). Mathématicien et physicien britannique (1942). Il est l'auteur de recherches théoriques concernant la thermodynamique, la mécanique quantique, la relativité. En astrophysique, il a apporté une importante contribution à l'étude des propriétés des trous* noirs. Il s'est efforcé aussi d'incorporer la mécanique quantique dans la cosmologie* relativiste, de façon à éliminer la singularité du big* bang.

Hayashi (limite de) [du nom de l'astronome japonais qui l'a découverte vers i960]. Frontière du diagramme de Hertzsprung*-Russell au-delà de laquelle, vers les basses températures, on ne trouve plus d'étoiles.
ENCYCL. C'est une ligne presque droite et parallèle à l'axe des luminosités sur le diagramme HR. Sa position varie légèrement avec la masse des étoiles considérées. Four les étoiles de la masse du Soleil, elle reste voisine de 4 000 K. Cette limite traduit le fait que les étoiles ne peuvent exister en équilibre hydrostatique que si leur température de surface est suffisamment élevée.

Hayashi (phase de) [du nom de l'astronome japonais qui l'a décrite vers i960]. Phase de l'évolution d'une étoile consistant en une contraction gravitationnelle, qui précède la combustion nucléaire de l'hydrogène et, par suite, l'arrivée de l'étoile sur la séquence principale du diagramme de Hertzsprung-Russell.
ENCYCL. Cette phase évolutive a une durée très variable selon les étoiles, liée à leur masse. Pour une étoile de la masse du Soleil, elle dure 50 millions d'années. Les étoiles à ce stade d'évolution sont appelées *T Tauri**. C'est à l'époque où le Soleil traversait cette phase d'évolution que se sont formées les planètes qui l'entourent aujourd'hui.

Haystack (observatoire). Observatoire radioastronomique américain, situé au N.-O. de Boston, dans le Massachusetts, et dépendant du Massachusetts Institute of Technology.
ENCYCL. Il comporte un radiotélescope paraboloïdal à antenne Cassegrain entièrement orientable de 37 m de diamètre, conçu principalement pour des observations à des longueurs d'onde millimétriques. Il a permis l'étude radar de la Lune, de Mercure et de Vénus ainsi que la découverte de nombreuses molécules interstellaires. Il est utilisé aussi pour de l'interférométrie à très longue base.

HD. Préfixe utilisé pour la nomenclature des étoiles figurant dans le *Henry* Draper Catalogue.*

HEAO (sigle de l'angl. *High Energy Astronomical Observatory,* observatoire astronomique de haute énergie). Satellites astronomiques américains.
ENCYCL. HEAO 1, lancé le 12 août 1977, procéda à la recherche systématique des sources célestes de rayons X ; HEAO 2, appelé aussi « Observatoire Einstein », lancé le 13 novembre 1978, permit l'étude détaillée de certaines sources particulières de rayonnement X, grâce à un télescope à incidence rasante de 58 cm de diamètre ; HEAO 3, lancé le 20 septembre 1979, se consacra à l'étude des sources célestes de rayons *y*.

Hector. Astéroïde 624, le plus gros des Troyens*, découvert en 1907 par A. Kopff.
ENCYCL. Son éclat varie d'un facteur 3,1 au cours de sa rotation, dont la période est de 6,9 h. D'après sa courbe de lumière, on a pu établir qu'il s'agit d'un objet allongé, d'environ 300 km de long pour 150 de large. Selon certains spécialistes, il serait formé de deux astéroïdes en contact et offrirait un exemple du processus d'accrétion par collision qui présida à la formation des planètes.

Hélène. Satellite de Saturne n° XII, découvert en 1980 par les Français Pierre Laques et Jean Lecacheux.
ENCYCL. Nom international : *Helene.* Demi-grand axe de son orbite : 377 400 km. Période de révolution sidérale : 2 737 j. Diamètre : 32 km. Il décrit la même orbite que Dioné*, dont il reste angulairement distant de 60°.

héliaque adj. (du grec *hêliakos,* relatif au Soleil). Se dit du lever (ou du coucher) d'un astre qui a lieu sensiblement au même moment que le lever (ou le coucher) du soleil.
ENCYCL. Le lever héliaque d'une étoile, auquel les Égyptiens et, avant eux, les Chaldéens prêtaient une particulière attention, est marqué par l'époque où cette étoile apparaît à l'aube dans la région de l'horizon où le soleil va se lever. Par la suite, l'étoile, qui se lève de plus en plus tôt avant le soleil et qui s'éloigne de lui de plus en plus dans le ciel, se voit de mieux en mieux. Les levers héliaques de Régulus* et de Sirius* étaient les plus attentivement guettés.

Hélice ou **Hélix (nébuleuse).** Nébuleuse planétaire NGC 7293, dans la constellation du Verseau.
ENCYCL. Son diamètre angulaire est de 30' environ, soit approximativement celui de la Lune, ce qui correspond à une extension dans l'espace de 4 années de lumière. Visible en son centre, l'étoile qui lui a donné naissance est une naine blanche. Sa forme particulière, à laquelle elle doit son nom, peut avoir diverses causes : rotation de l'étoile centrale sur elle-même ; binarité de cette étoile, répartissant la matière éjectée en fonction du mouvement orbital, etc.

héliocentrique adj. Relatif à un système de coordonnées dont l'origine est le centre du Soleil.

héliocentrisme n.m. Système astronomique d'après lequel on considère le Soleil comme le centre de l'Univers (astronomie ancienne) ou comme l'astre autour duquel tournent les planètes. Ce système s'oppose au géocentrisme*.

héliographe n.m. Appareil destiné à la surveillance photographique ou cinématographique du Soleil.

héliographique adj. Qui se rapporte à la surface du Soleil. *Latitude héliographique :* distance angulaire d'un point du disque solaire à l'équateur solaire, comptée positivement vers le nord et négativement vers le sud. L'équateur solaire fait un angle de 7°15' avec le plan de l'orbite terrestre ; au cours de l'année, vu de la Terre, il paraît se déplacer sur le disque solaire. Des tables donnent, pour une date donnée, la latitude héliographique du centre du disque solaire, qui sert de base pour calculer la latitude d'autres points du Soleil. *Longitude héliographique :* distance angulaire d'un point du disque solaire à un méridien de référence, comptée vers l'est ou vers l'ouest. Par convention, le méridien de référence est le méridien solaire qui est passé au nœud ascendant de l'équateur solaire sur l'écliptique le 1er janvier 1854 à 12 h UT. Des tables permettent aux observateurs de déterminer sa position à une date et à une heure données. Pour calculer la longitude d'un point par rapport à ce méridien origine, on suppose que le Soleil a une période de rotation sidérale uniforme de 25,38 jours.

héliomètre n.m. Lunette dont l'objectif était divisé en deux parties, mobiles l'une par rapport à l'autre, ce qui permettait de dédoubler l'image et de mesurer de petites distances angulaires.
ENCYCL. D'abord destiné à la mesure du diamètre apparent du Soleil (Bouguer, 1748), il a été ensuite utilisé pour la mesure du diamètre apparent des planètes et dès positions relatives des étoiles. C'est à l'aide de cet instrument que F.W. Bessel* détermina les premières parallaxes stellaires.

héliopause n.f. Limite supposée de l'héliosphère, le long de laquelle la densité d'énergie du vent solaire et celle du milieu interstellaire seraient en équilibre.

Helios. Nom de deux sondes interplanétaires réalisées par l'Allemagne fédérale et lancées par des fusées américaines pour l'étude de l'espace dans des régions voisines du So-

leil. Helios 1, lancée le 10 décembre 1974, s'approcha à 48 millions de kilomètres du Soleil le 15 mars 1975 ; Helios 2, lancée le 15 janvier 1976, abaissa ce record à 45 millions de kilomètres.

Hélios. Système spatial militaire français d'observation optique de la Terre.
ENCYCL. Décidé en 1986 par le ministère de la Défense (suite aux études préliminaires du projet SAMRO), le programme Hélios 1 est réalisé en coopération avec l'Italie (participation de 14 %) et l'Espagne (6 %), chaque pays disposant sur son territoire de ses propres installations de réception et de traitement des images.

Le système comporte deux composantes : l'une, dite « spatiale », comprend le satellite (d'environ 2,5 t) en orbite polaire héliosynchrone* à quelque 800 km d'altitude et un centre de maintien à poste, installé sur le territoire français ; l'autre, dite « utilisateur », comprend les centres de réception, de traitement et d'exploitation des images, installés dans chaque pays participant.

Le satellite est constitué de la plate-forme multimission développée dans le cadre du programme SPOT 4 et d'une charge optique spécifiquement militaire (caméra vidéo à très haute résolution et enregistreurs magnétiques permettent de stocker à bord des données images numériques transmises ensuite au sol).

Après le lancement d'un premier exemplaire, Hélios 1A, le 7 juillet 1995, un second, Hélios 1B, est prêt dans l'attente d'un lancement prévu pour la fin de 1999. Les performances de ce dernier seront améliorées par un nouveau logiciel d'exploitation des images, un enregistreur électronique (en remplacement d'un enregistreur magnétique emprunté à SPOT 4) et une station de réception et d'exploitation des images transportable sur les théâtres d'opérations.

La réalisation des satellites de deuxième génération, Hélios 2, a débuté en avril 1995. Ils bénéficieront de plusieurs améliorations : l'adjonction d'un moyen d'observation infrarouge autorisera la surveillance nocturne et la détection des activités sur les sites observés, les prises de vues seront plus nombreuses et les images obtenues présenteront une meilleure résolution. Le premier de ces satellites, Hélios 2A, devrait être lancé en 2003 pour assurer la continuité du système.

héliosismologie n.f. Étude des oscillations du Soleil, SYN : *sismologie solaire*

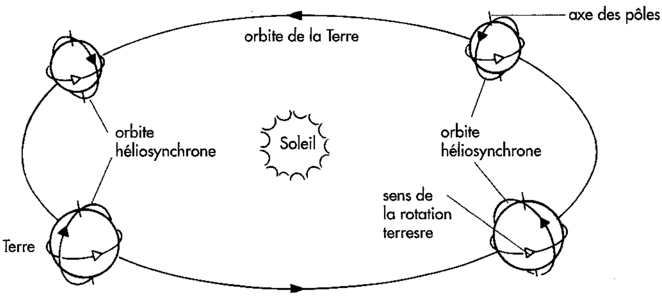
héliosphère n.f. Région de l'espace dans laquelle la densité d'énergie du vent solaire est supérieure à celle du milieu interstellaire.
ENCYCL. Limitée par l'héliopause, l'héliosphère se comporterait vis-à-vis du milieu interstellaire comme la magnétosphère d'une planète vis-à-vis du vent solaire. De dimensions variables selon l'activité solaire, elle s'étendrait jusqu'à une distance du Soleil de l'ordre de 75 à 100 fois celle de la Terre au Soleil. Les sondes Pioneer 10, Pioneer 11, Voyager 1 et Voyager 2, qui s'enfoncent progressivement dans l'espace, permettent de l'étudier à de grandes distances du Soleil. En 1992 et 1993, les deux sondes Voyager ont détecté de très puissantes émissions d'ondes radio de très basses fréquences (de l'ordre de 2 000 à 3 000 Hz), considérées comme l'écho électromagnétique de l'interaction du vent solaire avec le milieu interstellaire au niveau de l'héliopause. D'ici à la fin du siècle, l'étude de l'héliosphère doit se poursuivre notamment avec le satellite Soho*.

héliostat n.m. Cœlostat à un seul miroir, utilisé pour réfléchir la lumière du Soleil dans une direction donnée.

héliosynchrone adj. (du grec *hêlios,* Soleil, et *sunkhronos,* avec le temps). Se dit d'un satellite artificiel dont le plan de l'orbite conserve en permanence la même orientation par rapport à la direction Terre-Soleil.
ENCYCL. Un tel comportement est obtenu en exploitant un phénomène naturel : la précession du plan orbital de tout satellite artificiel terrestre, c'est-à-dire la rotation de la ligne des noeuds autour du centre de la Terre. L'origine de cette précession réside dans la forme irrégulière du globe, plus précisément dans l'existence d'un renflement, d'un « bourrelet » au niveau de l'équateur.

Si la Terre était parfaitement sphérique et homogène, le plan de tout satellite resterait fixe par rapport aux étoiles (du moins en première approximation). Comme ce n'est

Orbite d'un satellite **héliosynchrone**



pas le cas, il y a précession. Mais, si on ne peut la supprimer, du moins peut-on en choisir l'amplitude. En particulier, il est possible d'obtenir une précession de 360° par an : dans ces conditions, le plan pivote régulièrement de 0,985° par jour et maintient un angle quasiment invariable avec la direction du Soleil. On est en présence d'une orbite à ensoleillement constant, ce qui est la caractéristique de tout sateÉte héliosynchrone. Dès lors, une zone donnée de la surface terrestre est observée dans des conditions d'éclairement stables d'une orbite sur l'autre : c'est là un avantage appréciable pour la météorologie, la télédétection et la surveillance militaire.

Sur le plan mathématique, la condition d'héliosynchronisme (une précession quotidienne de 0,985°) se traduit par l'existence d'une relation linéaire très simple entre la valeur de l'inclinaison de l'orbite et celle de son demi-grand axe : à une altitude donnée correspond une (et une seule) inclinaison, et inversement. Concrètement, pour des orbites circulaires comprises entre 200 et 1 500 km, l'inclinaison correspondante varie de 96 à 102°.

De ce fait, tout satellite héliosynchrone est, en outre, polaire : il est en mesure de survoler la totalité du globe, ce qui constitue un attrait supplémentaire pour le type de mission évoqué.

Du fait du couplage entre la précession de son orbite et la rotation terrestre, tout satellite héliosynchrone survole une latitude donnée à une heure solaire locale constante, quelle que soit la longitude du lieu. Par exemple, les satellites SPOT ont été lancés de façon à franchir l'équateur vers 10 h 30 min (heure solaire locale) dans le sens nord-sud et vers 22 h 30 min dans le sens inverse. Le même raisonnement est valable pour toute autre latitude (mais à une heure locale différente). Toutefois, en raison d'influences perturbatrices, il est nécessaire de procéder, périodiquement, à des corrections d'orbite pour maintenir la condition d'héliosynchronisme au moyen d'un système propulsif dont est muni tout satellite héliosynchrone. D'ailleurs, c'est souvent la quantité d'ergols embarquée à cet usage qui limite sa durée de vie utile.

L'orbite géostationnaire est unique ; par contre, il existe une infinité d'orbites héliosynchrones.

Un satellite géostationnaire est synchronisé avec la rotation terrestre alors que le plan d'un satellite héliosynchrone l'est avec la révolution terrestre.

Le premier satellite héliosynchrone du monde, Samos 2, a été lancé par les États-Unis, le 31 janvier 1961, à des fins militaires.

hélium n.m. (du grec *hêlios,* soleil). Élément chimique de symbole He.

ENCYCL. En 1868, J. Janssen* et N. Lockyer* observèrent dans le spectre solaire une raie lumineuse différente de celles qui correspondaient aux éléments connus ; cette raie fut attribuée à un élément spécial au Soleil, qu'ils nommèrent *hélium.* C'est seulement en 1895 que Ramsay reconnut la présence de cet élément dans le dégagement gazeux produit par certains minerais d'uranium, notamment la clévéite. On a ensuite découvert l'existence d'hélium dans l'air, à raison de 5 cm^3 pour 1 m^3. Gaz rare sur la Terre, l'hélium est l'élément le plus abondant dans

l'Univers (environ 25 % en masse) après l'hydrogène. C'est l'un des éléments légers qui ont pu être synthétisés après le Big* Bang. Il se forme également au cœur des étoiles de la séquence principale du diagramme de Hertzsprung*-Russell, par fusion de l'hydrogène **nucléosynthèse.**

hémisphère n.m. Chacune des deux moitiés du globe terrestre, d'un astre sphérique ou sphéroïdal quelconque ou de la sphère céleste, séparées par un plan diamétral, en particulier par l'équateur *(hémisphère Nord,* ou *septentrional,* ou *boréal ; hémisphère Sud,* ou *méridional,* ou *austral).*

Henry (Paul) [Nancy 1848 - Montrouge 1905] et son frère Prosper (Nancy 1849 - Pralognan, Savoie, 1903), astronomes français.
Pionniers de la photographie de champs stellaires, célèbres pour leur habileté à tailler et à polir les pièces optiques des instruments astronomiques, ils réalisèrent notamment la lunette de 33 cm de diamètre, à monture équatoriale, installée en 1885 à l'Observatoire de Paris, prototype des lunettes utilisées pour réaliser la Carte* photographique du ciel.

HEOS (sigle de *Highly Eccentric Orbit Satellite).* Nom ae deux satellites de l'ESRO*, pesant respectivement 108 et 117 kg, lancés le 5 décembre 1968 et le 31 janvier 1972, par des fusées américaines, et placés sur des orbites très elliptiques (450 km de périgée et 210 000 km d'apogée pour HEOS 1, 410 km de périgée et 240 000 km d'apogée pour HEOS 2) pour des études du vent solaire et du milieu interplanétaire.

Herbig-Haro (objet de). Petite nébulosité brillante observée dans les régions de formation stellaire, associée à de vastes complexes de matière interstellaire.
ENCYCL. Désignés couramment sous l'appellation abrégée *d'objets HH,* les objets de Herbig-Haro doivent leur nom aux deux astronomes qui les ont découverts dans les années 1950, l'Américain George H. Herbig et le Mexicain Guillermo Haro. On en observe de nombreux spécimens, notamment dans la grande nébuleuse d'Orion (M 42) et dans les nuages interstellaires de la constellation du Taureau. Leur spectre, qui montre des raies d'émission assez intenses, conduit à leur attribuer une température d'environ 10 000 K et une densité de l'ordre de 10 000 atomes par cm^3. Le décalage de leurs raies spectrales révèle des mouvements très rapides de la matière (jusqu'à des vitesses de plusieurs centaines de kilomètres par seconde). Leur luminosité n'excède pas quelques centièmes de celle du Soleil et leur masse est estimée à moins du dix-millième de celle du Soleil. Ces astres semblent représentatifs d'une phase particulière de la formation des étoiles : il s'agirait des ondes de choc engendrées par l'arrivée dans le milieu interstellaire des jets de matière expulsés à grande vitesse par les étoiles naissantes.

Hercule (amas d'). Amas globulaire M 13 découvert en 1714 par E. Halley, dans la constellation d'Hercule. Il est visible à l'œil nu comme une petite nébulosité de magnitude 5,8. Sa distance est de 25 000 années de lumière environ et son diamètre est estimé à 170 années de lumière. Dans sa partie centrale, les étoiles sont trop nombreuses et trop rapprochées pour qu'on puisse les distinguer : au total, cet amas doit renfermer plusieurs centaines de milliers d'étoiles. L'éclat global est supérieur à 300 000 fois celui du Soleil. Un message à l'adresse d'éventuelles civilisations extraterrestres a été émis dans sa direction, en 1974, à l'aide du radiotélescope d'Arecibo*.

Hercule. Constellation boréale, l'une des plus étendues du ciel, entre la Lyre et la Couronne boréale.
ENCYCL. Son étoile principale est *Ras Algethi.* Parmi les curiosités de cette constellation figurent les étoiles Ç et *HZ Herculis,* et l'amas globulaire M 13 (-• **amas d'Hercule*).** Ç *Herculis* est une étoile double dont la période orbitale n'est que de 34,4 ans, ce qui a déjà permis de l'étudier durant cinq révolutions complètes depuis sa découverte, par J. Herschel*, en 1782. Les irrégularités de son orbite révèlent l'existence, autour de la composante principale, d'un troisième astre invisible. *HZ Herculis* est une binaire à éclipses. Sa composante secondaire, qui s'éclipse pendant 5,8 h tous les 1,7 j derrière la compo-

santé principale, est, pense-t-on, une étoile à neutrons captant par accrétion la matière de sa compagne. La chute, sur les pôles magnétiques de l'étoile, de gaz extrêmement chaud expliquerait les propriétés d'une puissante source de rayonnement X associée au système, *Hercules X-4,* dont les émissions se présentent sous forme de brefs éclairs survenant à intervalles de 1,24 seconde.
La constellation est également célèbre pour avoir abrité en 1934 une nova qui, lors de son maximum d'éclat, le 22 décembre 1934, atteignit la magnitude 1,5. On y observe, enfin, l'un des superamas de galaxies les plus proches et les mieux étudiés : formé de trois amas principaux et de cinq plus petits, il est situé à quelque 500 millions d'années de lumière et renferme environ 3 000 galaxies dans un volume de 60 millions d'années de lumière de diamètre.

Hercules A. La plus puissante radiosource de la constellation d'Hercule, associée à une galaxie elliptique. Ses émissions révèlent Pexistence de deux jets de matière s'étendant sur une distance de 500 000 années de lumière de part et d'autre du noyau de la galaxie.

Hercules X-1. Pulsar X de la constellation d'Hercule*, associé au système binaire *HZ Herculis.*

Hermès. Astéroïde du type Apollo découvert en 1937 par Karl Reinmuth, à l'observatoire de Heidelberg.
ENCYCL. Ce petit astre, dont le diamètre estimé n'est que de 800 m, décrit en 2,10 ans une orbite très elliptique, sa distance au Soleil variant entre 92 et 398 millions de km : au périhélie, il est plus proche du Soleil que Vénus ; à l'aphélie, il en est plus éloigné que Mars. Le 30 octobre 1937, il est passé à moins de 800 000 km de la Terre, mais, dans les conditions les plus favorables, il peut s'en approcher à 300 000 km seulement.

Hermes. Projet d'avion spatial européen, né en 1976 en France, au Centre national d'études spatiales, intégré aux programmes de l'Agence spatiale européenne (ESA) en 1987, et finalement abandonné en 1992.
ENCYCL. L'originalité du système de transport spatial Ariane 5/Hermes résidait dans la dissociation des lancements automatiques et des lancements habités. Hermes était destiné à assurer diverses missions répondant aux besoins de l'Europe en matière d'intervention humaine en orbite. Sa mission principale devait consister à desservir le laboratoire autonome de Columbus (CFFL), évoluant sur une orbite circulaire, à 460 km d'altitude, inclinée de 28,5° sur l'équateur. Des vols autonomes de quelques jours, sans amarrage à une station, pour diverses opérations ou expérimentations, auraient aussi été possibles.

Herschel (Caroline), astronome anglaise d'origine allemande (Hanovre 1750 - 1848). Sœur de William, elle l'aida notamment à constituer son catalogue d'étoiles et découvrit 8 comètes.

Herschel (sir John), astronome anglais (Slough, Buckinghamshire, 1792 - Collingwood, Kent, 1871).
Fils de sir William, il continua les travaux de son père et se consacra surtout à l'étude des étoiles doubles, des étoiles variables et des nébuleuses, notamment dans l'hémisphère austral. Son *Catalogue de nébuleuses et d'amas* (1863) recense 5 096 objets.

Herschel (sir William), astronome anglais d'origine allemande (Hanovre 1738 - Slough, Buckinghamshire, 1822).
Venu très jeune se fixer en Angleterre, il fut d'abord organiste et professeur de musique. Mais, passionné d'astronomie, il entreprit, en amateur, à partir de 1773, la réalisation de télescopes de plus en plus puissants (jusqu'à 1,20 m de diamètre) et devint un observateur du ciel extrêmement actif. Le 13 mars 1781, il découvrit dans la constellation des Gémeaux un objet nouveau qu'il prit pour une comète. Il s'agissait en fait d'une planète jusqu'alors inconnue : Uranus. En 1787, il découvrit deux satellites de cette nouvelle planète, Titania et Obéron, et, en 1789, deux satellites de la planète Saturne : Encejade et Mimas. Outre l'observation de plus de 2 500 nébuleuses, Herschel confirma la fuite du système solaire vers un point, l'apex, situé dans la constellation d'Hercule. Véritable fondateur de l'astronomie stel-

laire, il étudia systématiquement les étoiles doubles et, le premier, comprit que cette duplicité est due à un lien physique entre les étoiles et non à un effet de perspective. Il montra que le mouvement du couple s'effectue autour du centre de gravité du système, selon les lois de Kepler. Il fonda également la photométrie visuelle des étoiles et, le premier, tenta de dénombrer les étoiles de la Galaxie. Enfin, vers 1800, il découvrit les effets thermiques du rayonnement infrarouge.

Herschel (télescope d'). Type de télescope inventé par W. Herschel, dans lequel le miroir principal paraboloïdal est incliné de manière que son foyer se trouve hors du tube de l'instrument et soit donc accessible sans obstruction d'une partie du faisceau de lumière incidente. Ce système a l'inconvénient d'introduire des déformations dans les images et il a été rapidement abandonné au profit d'autres types de télescopes.

Herschel (télescope William). Télescope de 4,2 m de diamètre, mis en service en 1987 à l'observatoire Roque* de los Muchachos, sur l'île de La Palma, dans l'archipel des Canaries, et dont l'utilisation est partagée entre le Royaume-Uni, l'Espagne et les Pays-Bas.

Hertzsprung (Ejnar), astronome danois (Frederiksberg, près de Copenhague, 1873 - Tollose 1967).
Il eutl'idée, en 1905, de classer les étoiles* d'un même type spectral en plusieurs *classes de luminosité,* d'autant plus distinctes qu'il s'agit d'étoiles moins chaudes. Le diagramme auquel il aboutit, perfectionné par H.N. Russell*, est universellement connu sous le nom de *diagramme de Hertzsprung-Russell.*

Hertzsprung-Russell (diagramme de) [en abrégé, *diagramme HR],* Diagramme établi indépendamment par le Danois E. Hertzsprung en 1911 et l'Américain H. N. Russell en 1913, qui établit une corrélation entre le type spectral des étoiles et leur luminosité.
ENCYCL. On construit habituellement ce diagramme en portant en abscisse le type spectral ou l'indice de couleur (B-V) des étoiles, et en ordonnée leur magnitude absolue, qui est une mesure de leur luminosité. Deux étoiles ayant la même température sont situées sur une même verticale du diagramme ; si l'une est plus lumineuse que l'autre, c'est qu'elle est plus grosse : le diagramme permet donc d'estimer le diamètre des étoiles. On constate que les étoiles se repartissent approximativement en quatre zones :
- la branche des supergéantes, tout en haut du diagramme ;
- la branche des géantes, en haut, à droite ;
- la séquence (ou série) principale, qui regroupe 90 % des étoiles (dites *naines),* le long d'une diagonale allant du haut à gauche au bas à droite ;
- enfin, la zone des naines blanches, en bas, à gauche.

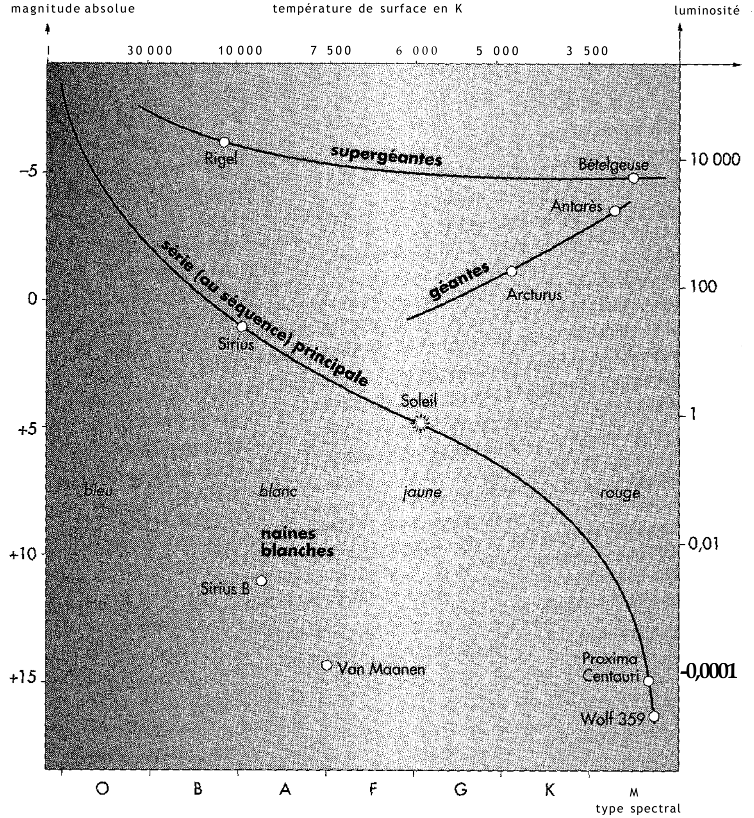
Le diagramme HR (*voir* schéma) revêt une importance capitale en astrophysique stellaire. En utilisant un diagramme HR de référence, construit à partir d'étoiles dont on a pu mesurer la distance, on peut notamment connaître la magnitude absolue, donc la luminosité et, par suite, la distance d'une étoile quelconque dont on a mesuré la magnitude apparente. Un procédé analogue permet de déterminer la distance d'un amas stellaire, à partir d'un diagramme HR de référence établi entre l'indice de couleur (B-V) et la magnitude absolue.

HET. Sigle de *Hobby-Eberly Telescope.*

heure n.f. Unité de mesure d'angle plan valant 15°. On l'utilise notamment pour exprimer les ascensions droites.

Hevelius (Johannes Havelke ou Hewel, dit), astronome polonais (Dantzig 1611-1687).
Brasseur à Dantzig, il installa un observatoire sur le toit de sa maison et fut l'un des observateurs du ciel les plus actifs du XVIIe siècle. De 1642 à 1645, il étudia les taches solaires et en déduisit la période de rotation du Soleil ; il fut le premier à décrire les facules. En 1647, il publia la première carte détaillée de la Lune ; il évalua la hauteur des montagnes lunaires. En 1690, il publia, avec l'atlas correspondant, un catalogue stellaire

Diagramme de Hertzsprung-Russelt



donnant les positions de plus de 1 500 étoiles, malheureusement déterminées à l'œil nu (donc relativement peu précises). Dans sa *Cométographfc* (1668), il suggère que les comètes décrivent des trajectoires paraboliques ou hyperboliques autour du Soleil.

Hewish (Antony), astrophysicien britannique (Fowey, Cornwall, 1924). Il a été professeur de radioastronomie à l'université de Cambridge (1971). Ses recherches effectuées à l'observatoire de Mullard l'ont conduit, avec son élève Jocelyne Bell-Burnell, à découvrir, en 1967, les pulsars*. Il a partagé avec Martin Ryle le prix Nobel de physique en 1974.

Hl (région) **région.**

Hibou (nébuleuse du). Nébuleuse planétaire M97 (ou NGC 3587) dans la constellation de la Grande Ourse.

ENCYCL. C'est l'une des plus grandes nébuleuses planétaires connues, avec un diamètre de 1,5 année de lumière. Elle est située à 1 600 années de lumière de distance.

Hidalgo. Astéroïde 944, découvert en 1920.

ENCYCL. Son orbite, qu'il décrit en 5 183 j, est remarquable à cause des valeurs exceptionnellement fortes de son inclinaison sur l'écliptique (42°) et de son excentricité (0,66) : au périhélie, il s'approche à 300 millions de km du Soleil, mais, à l'aphélie, il s'en éloigne à 1 450 millions de km, atteignant presque l'orbite de Saturne.

HII (région) → région.

Himalia. Satellite de Jupiter (n° VI), découvert en 1904 par l'Américain C. Perrine. Demi-grand axe de son orbite : 11 480 000 km. Période de révolution sidérale : 250,566 j. Diamètre : 180 km.

Hind (John Russell), astronome anglais (Nottingham. 1823 - Twickenham 1895).
Il calcula les orbites de plus de 70 petites planètes et comètes, et, entre 1847 et 1854, découvrit 10 astéroïdes. À partir de 1853, il dirigea le *Nautical Almanac*.

Hipparcos (acronyme de l'angl. *High Précision PARallax COllecting Satellite* qui rappelle aussi le nom d'Hipparque*, astronome grec pouvant être considéré comme le fondateur de l'astronomie de position). Satellite européen d'astrométrie.
ENCYCL. Premier satellite dédié à l'astrométrie, Hipparcos a concrétisé un projet conçu en 1966 par Pierre Lacroute, alors directeur de l'observatoire de Strasbourg. Lancé le 8 août 1989 par une fusée Ariane, il a fonctionné jusqu'au 24 juin 1993. Il emportait une charge utile de 210 kg comprenant essentiellement un télescope de 29 cm d'ouverture, qui balayait le ciel de manière continue et systématique en visant simultanément deux régions célestes distinctes, ce qui permettait de mesurer, pour un grand nombre d'étoiles prises deux à deux, l'écart angulaire qui les sépare. En combinant numériquement plusieurs millions de mesures, chacune relative à un couple d'étoiles, on pouvait ensuite déterminer les paramètres astrométriques d'étoiles présélectionnées.
Par suite d'une panne d'allumage de son moteur d'apogée, le satellite n'a pu atteindre, comme prévu, l'orbite géostationnaire. Cela a nécessité de réviser sa mission. Il a finalement fonctionné plus de trois ans sur une orbite très allongée d'environ 560 km de périgée et 36 000 km d'apogée, qu'il décrivait en 10 h 40 min. De ce fait, il n'était utilisable que 17 h par jour, et la réception des données exigeait d'autres stations d'écoute que celle d'Odenwald, en Allemagne : celles de Perth, en Australie, et de Goldstone, en Californie. Par ailleurs, la réduction des mesures s'avérait plus complexe. Malgré ce handicap, les objectifs scientifiques initiaux ont été intégralement atteints. Le catalogue Hipparcos, publié en 1997, fournit les coordonnées célestes, la parallaxe* annuelle et les composantes du mouvement* propre de quelque 118 000 étoiles avec une précision 10 à 100 fois plus grande que les catalogues antérieurs, établis à l'aide d'instruments au sol (la précision est de l'ordre de 0,002" pour les parallaxes et de 10^{-6} degré pour les positions). On disposera aussi d'un catalogue photométrique (catalogue Tycho) de plus d'un million d'étoiles. De plus, Hipparcos a découvert près de 10 000 nouveaux systèmes binaires (étoiles doubles), mesuré avec précision les variations de luminosité de plusieurs centaines de milliers d'étoiles, et contribué, par des méthodes de mesure indépendantes, à confirmer les prévisions fondées sur la théorie de la relativité générale.

Hipparque, astronome grec (IIe s. av. J.-C.). Il peut être considéré comme le fondateur de l'astronomie de position. Parmi ses nombreux travaux, connus grâce à Ptolémée, figurent la mesure précise de la période de révolution de la Lune, la détermination de la distance Terre-Lune, l'établissement de tables du mouvement du Soleil et de la Lune. Sa principale découverte est celle de la précession* des équinoxes : ayant constaté que le Soleil, dans son mouvement apparent annuel, met un peu plus de temps à revenir au même point du zodiaque qu'à rejoindre l'équateur céleste d'un printemps au suivant, il expliqua correctement le phénomène par un lent déplacement, par rapport aux étoiles, des points équinoxiaux, c'est-à-dire des intersections de l'écliptique et de l'équateur céleste.

En 134, l'apparition soudaine d'une nova* l'incita à mesurer avec précision les coordonnées célestes des étoiles afin de pouvoir déceler toute nouvelle apparition insolite et mettre en évidence d'éventuels mouvements des étoiles les *unes* par rapport aux autres. Il réalisa ainsi un catalogue de 1 025 étoiles, où celles-ci sont, pour la première fois, classées en six grandeurs selon leur éclat. Il jeta aussi les bases de la trigonométrie, inventa la projection stéréographique (utilisée pour la confection des astrolabes*) et

proposa la première méthode de détermination des longitudes.

Hispasat. Premiers satellites espagnols lancés en 1992 et 1993 pour les télécommunications et la radiodiffusion depuis l'orbite géostationnaire.

HM 7 (abréviation de *hydrogène moteur 7 tonnes).* Moteur cryotechnique utilisé pour la propulsion du troisième étage d'Ariane (version HM 7A sur Ariane 1 et HM 7B sur Ariane 2, 3 et 4).
ENCYCL. Sa masse est de 155 kg. Consommation : 14,2 kg/s d'ergols (hydrogène et oxygène liquides). Poussée (dans le vide) : 62 kN (sur Ariane 4). Impulsion spécifique (dans le vide) : environ 445 s. Durée de fonctionnement : environ 12 min.

Hoba (météorite de). La plus grosse météorite connue, une sidérite de 60 tonnes environ, découverte en 1928 à Hoba, en Namibie.

Hobby-Eberly Telescope (HET) [du nom de William P. Hobby et Robert E. Eberly, défenseurs de l'éducation publique, respectivement au Texas et en Pennsylvanie], Télescope américain doté d'un miroir primaire de 11 m de diamètre mais de 9,2 m d'ouverture effective, de l'observatoire McDonald", construit sur le mont Fowlkes, au Texas, à 1 980 m d'altitude, par un consortium d'universités américaines et allemandes, et mis en service en 1997. Son miroir primaire est formé de 91 segments hexagonaux de 1 m de large. Cet instrument, conçu principalement pour la spectroscopie, collecte presque autant de lumière que chacun des deux télescopes Keck*, mais il est beaucoup plus léger et a coûté bien moins cher. En effet, s'il est parfaitement mobile en azimut, il reste en revanche constamment pointé au voisinage de 55° de hauteur, avec une amplitude de 6° seulement. Malgré cette contrainte, il couvre 70 % du ciel visible de son site, en ayant accès aux déclinaisons comprises entre -10° et +71°.

Hohmann (trajectoire de) [du nom de l'Allemand Walter Hohmann (1880-1943), qui la calcula]. Trajectoire théorique qui permet d'atteindre une autre planète avec une consommation d'énergie minimale.
ENCYCL. Cette trajectoire de transfert la plus économique est aussi la plus longue. Si l'on considère, en première approximation, que les planètes évoluent dans un même plan, cette trajectoire optimale est une demi-ellipse káplérienne dont le Soleil constitue l'un des foyers, tangente à la fois à l'orbite terrestre (au moment du lancement du véhicule spatial) et à celle de la planète visée (au moment de l'arrivée). La trajectoire de Hohmann a essentiellement une valeur de référence. Elle nous apprend, par exemple, que, moyennant une vitesse, en orbite terrestre basse, comprise entre 11,40 km/s (pour Vénus) et 16,20 km/s (pour Pluton), la totalité du système solaire peut être explorée par des sondes automatiques au prix d'un voyage d'une durée variant de 105 jours (Mercure) à 45 ans et demi (Pluton).

Homoncule (nébuleuse de l'). Petite nébuleuse qui entoure l'étoile r | *Carinae*.*

Hope (abrév. de l'angl. *H-Z Orbiting PlanE).* Projet de navette spatiale japonaise dépourvue d'équipage et fonctionnant de façon entièrement automatique.
ENCYCL. Cette navette sera lancée et satellisée après l'an 2000 par une version améliorée de la fusée H 2* et reviendra au sol en constituant un planeur hypersonique. Mesurant 16,5 m de long sur 12 m d'envergure et pesant 131 au lancement, elle pourra emporter 3 t de charge utile en orbite à 400 km d'altitude et rapporter 3 t au sol au terme de sa mission. Son autonomie en orbite sera de 4 j. Elle assurera la desserte du module spatial japonais de la Station* spatiale internationale.
Un modèle réduit de 1 040 kg, appelé « Hyflex » *(Hypersonic Flight Experiment)* a été lancé en 1996 mais a coulé à son retour et n'a pu être récupéré.

Hor. Abréviation de *Horologium,* désignant la constellation de l'Horloge.

horaire adj. *Angle horaire d'un point :* distance angulaire de la projection de ce point sur le plan équatoriai, comptée dans le sens rétrograde, à partir du méridien, en un lieu

donné. *Coordonnées horaires :* coordonnées sphériques, pour un lieu donné, dans un système rétrograde, dont le plan fondamental est le plan de l'équateur, dont la direction origine est l'intersection de ce plan avec le méridien du lieu, et dont le pôle positif (ou pôie^nord) est situé du même côté du plan équatoriai que le pôle Nord terrestre. *Lignes horaires :* lignes marquant d'heure en heure la position de l'ombre du style sur un cadran solaire.

Horizon 2000. Programme européen à long terme de recherche scientifique dans l'espace.

ENCYCL. Conçu pour donner à l'Europe une place de premier plan dans le développement mondial de la science spatiale durant la dernière décennie du xxe siècle et la première du xxie siècle, ce plan a été élaboré en 1984 et approuvé en 1985, à Rome, par le Conseil de l'Agence spatiale européenne.

Il s'articule autour de quatre missions fondamentales, dites « pierres angulaires », qui déterminent les directions dans lesquelles les développements technologiques doivent être entrepris. Un certain nombre de missions moins coûteuses (moyennes ou petites missions), sélectionnées progressivement et en compétition, lui permettent de conserver la souplesse nécessaire pour s'adapter à l'évolution des exigences de la communauté scientifique.

Les quatre pierres angulaires du programme sont deux grands observatoires orbitaux - l'un (XMM*) pour l'étude et la spectroscopie des sources célestes de rayonnement X, l'autre (FIRST*) pour l'observation de l'Univers dans le domaine des longueurs d'onde submillimétriques - et deux missions d'étude du système solaire : l'une comprenant en fait deux volets complémentaires (Soho* et Cluster*) pour l'étude du Soleil et des relations Soleil-Terre ; l'autre (Rosetta*) destinée à étudier le noyau d'une comète et le développement de l'activité cométaire.

Les deux missions du programme d'étude des relations Soleil-Terre font l'objet d'une coopération entre la NASA et l'Agence spatiale européenne.

Parmi les missions moyennes, certaines sont déjà achevées (Hipparcos*) *ou* opérationnelles (Ulysse* et la contribution européenne au télescope spatial Hubble*). En 1995 a eu lieu le lancement du satellite d'astronomie infrarouge ISO* puis, en 1997, celui du vaisseau américain Cassini* emportant la sonde européenne Huygens* pour l'exploration de l'atmosphère de Titan, le plus gros satellite de Saturne. Par ailleurs, en 1993, une nouvelle mission moyenne a été choisie parmi les quatre ayant fait l'objet d'une présélection en 1991 : Intégral* (Laboratoire international d'astrophysique du rayonnement gamma) dont le lancement est prévu en 2001.

Parmi les petites missions, deux méritent plus particulièrement d'être citées : la réactivation de la sonde Giotto* pour l'observation de la comète Grigg-Skjellerup, en juillet 1992, et l'embarquement sur la plate-forme récupérable Eureca* 1 de cinq instruments *consacrés* à l'étude des variations du flux solaire.

Le programme Horizon 2000 s'inscrit dans le cadre des activités scientifiques de l'Agence spatiale européenne, au financement desquelles les États membres de l'ESA doivent obligatoirement participer au prorata de leur PNB.

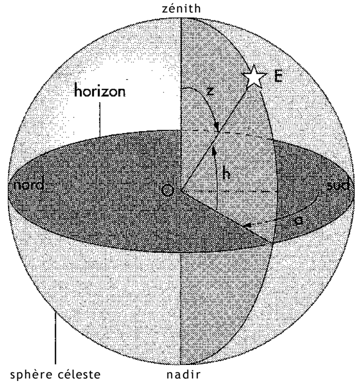
Destiné à poursuivre ce programme au-delà de l'an 2000, jusque vers 2015, le programme Horizon 2000 Plus comporte trois nouvelles pierres angulaires, à savoir : une mission vers la planète Mercure **(-+Mercury Orbiter),** une mission d'interférométrie spatiale orientée vers des observations astrométriques **(->GAIA)** et un observatoire spatial pour la *détection des* ondes gravitationnelles de basse fréquence (-• **LISA),** ainsi que trois ou quatre missions moyennes ou petites.

horizon des événements. Limite à l'observation des phénomènes physiques au voisinage d'un trou* noir.

horizon des particules. Limite de l'Univers visible, en deçà de laquelle la lumière a eu le temps de nous parvenir depuis le début de l'expansion* de l'Univers.

horizon n.m. 1. Grand cercle de la sphère céleste formé, en un lieu donné, par l'intersection de cette sphère et du plan horizontal. **2.** Synonyme de plan horizontal.

Coordonnées **horizontales**



z = distance zénithale de l'étoile E,
h = hauteur, a = azimut de l'étoile E

horizontal, e, aux adj. (de *horizon).* Parallèle à l'horizon, perpendiculaire à la direction de la pesanteur, en un lieu donné. *Coordonnées horizontales :* coordonnées sphériques, pour un lieu donné, dans un système rétrograde dont le plan fondamental est le plan horizontal du lieu, le pôle positif le zénith, et la direction origine l'intersection du plan horizontal avec le plan méridien du lieu. Les coordonnées horizontales sont l'azimut et la hauteur (ou son complément algébrique, la distance zénithale). *Plan horizontal :* plan passant par l'observateur et perpendiculaire à la direction de la pesanteur, en un lieu donné.

Horloge (en latin *Horologium, -gii).* Petite constellation australe. Introduite par La Caille au xviiie s., elle ne renferme que des étoiles peu brillantes, la plus lumineuse étant de magnitude apparente 3,8.

horloge astronomique. Appareil fixe de mesure du temps, de dimensions généralement importantes, qui, outre l'indication de l'heure, fournit divers renseignements astronomiques, tels que les phases de la Lune, la position apparente du Soleil dans le zodiaque, etc.

horloge atomique. Appareil qui délivre un signal périodique extrêmement stable, pouvant servir d'étalon de temps, dont la fréquence est définie à partir d'une modification de l'énergie interne d'un atome spécifié (césium, rubidium, hydrogène, etc.)
ENCYCL. Depuis 1994, grâce à Putilisation des techniques de refroidissement d'atomes par laser, un nouveau type d'horloge à césium, la fontaine atomique, réalisée à l'Observatoire de Paris, possède les meilleures performances au monde : sa stabilité est telle qu'elle ne devrait pas dériver de plus d'une seconde en 30 millions d'années **PHARAO**

Horologium (-ii). Nom latin de la constellation de l'Horloge (abrév. *Hor).*

Hot Bird (loc. angl. signifiant *oiseau de feu).* Satellites de télévision directe de l'organisation européenne Eutelsat.
ENCYCL. Colocalisés à 13° E, ces satellites géostationnaires possèdent 20 répéteurs et assurent la réception directe de programmes de télévision dans environ 70 millions de foyers en Europe, avec des antennes de moins de 60 cm de diamètre. Leur masse au lancement est de 2,9 t et leur espérance de vie est estimée à douze ans. Cinq exemplaires ont été lancés : Hot Bird 1 et 2 (1996), Hot Bird 3 (1997), Hot Bird 4 et 5 (1998).

Hotol (abrév. de *Horizontal Take-Off and Landing).* Projet britannique de navette spatiale monoétage à décollage et atterrissage horizontaux.
ENCYCL. Jugé trop hasardeux et trop coûteux, ce projet a été remplacé, en 1990, par un concept moins futuriste de navette aéroportée, dite « Intérim Hotol », étudiée en coopération avec la Russie. Longue de 36,5 m pour 21,6 m d'envergure et 11,3 m de haut, pesant 250 t au décollage (dont 210 t environ d'ergols), cette navette pourrait emporter une charge utile de 7 t en orbite quasi équatoriale à 300 km d'altitude. Montée sur un avion porteur Antonov-225, elle serait larguée à 9 400 m d'altitude et serait ensuite propulsée par quatre moteurs ciyotechniques fournis par la Russie.

Houston. Ville des États-Unis, au Texas, à proximité du golfe du Mexique.
ENCYCL. À quelque 30 km au sud-est se trouve le Centre spatial Lyndon B. Johnson de la NASA, fondé en 1961, chargé de la concep-

tion, du développement et des essais des vaisseaux spatiaux habités américains, de la sélection et de l'entraînement des astronautes, du planning et du contrôle des vols pilotés, et d'une importante participation aux équipements médicaux, scientifiques et technologiques emportés lors des missions spatiales américaines.

Hoyle (sir Fred), astrophysicien et mathématicien britannique (Bingley 1915).
Il a étudié la nucléosynthèse à l'intérieur des étoiles (1954-57) et a été l'un des pionniers de l'astrophysique nucléaire avec W.A. Fowler*. En cosmologie, il s'est fait l'ardent défenseur, à partir de 1948, de la théorie de l'état* stationnaire, à présent abandonnée, puis, avec l'astronome indien J. V. Narlikar, il a élaboré un modèle d'univers sans expansion, où le décalage spectral vers le rouge des galaxies s'explique par un changement de la masse des particules subatomiques au cours du temps, avant de proposer, en 1993, une nouvelle alternative à la théorie du Big* Bang. Avec l'astronome indien C. Wickramasinghe, il a remis à l'honneur la théorie de la panspermie (1978), en soutenant que les substances qui ont permis l'éclosion de la vie sur la Terre venaient de l'espace et qu'elles ont été apportées par les comètes.

HR (diagramme) -» Hertzsprung-Russell (diagramme de).

HST (sigle de *Hubble Space Telescope)* **-* Hubble (télescope spatial)**

Hubble (constante de). Facteur de proportionnalité entre la vitesse de fuite des galaxies et leur distance, selon la loi de Hubble.
ENCYCL. Habituellement désigné par H_0, ce paramètre fixe le taux d'expansion de l'Univers au cours du temps et joue un rôle important dans les modèles cosmologiques. Sa valeur avait été estimée primitivement par Hubble à 526 km-s^-Mpc, mais elle était largement surévaluée car la luminosité des céphéides*, étoiles utilisées comme indicateurs de distance, n'était pas corrigée de l'effet d'absorption interstellaire. Les déterminations modernes restent controversées, car la mesure précise des distances des galaxies, libérée de tout biais systématique, est très délicate.
Les valeurs obtenues vont de 50 à 110 km-s^-Mpc, ce qui situe l'explosion primordiale (Big* Bang) il y a 10 à 20 milliards d'années.

Hubble (Edwin Powell), astrophysicien américain (Marshfield, Missouri, 1889 - San Marino, Californie, 1953). Il effectua ses recherches successivement aux observatoires de Yerkes (1914), du mont Wilson (1919) et du mont Palomar (1948). La mise en évidence d'étoiles dans la nébuleuse M 31 d'Andromède (1923) lui permet d'établir l'existence de galaxies extérieures à celle qui abrite le système solaire. Puis, se fondant sur le rougissement systématique du spectre des galaxies, interprété comme un effet Doppler-Fizeau, il formula une loi empirique selon laquelle les galaxies s'éloignent les unes des autres à une vitesse proportionnelle à leur distance (1929), et conforta ainsi la théorie de l'expansion de l'Univers.

Hubble (loi de). Loi empirique formulée par Hubble en 1929, selon laquelle les galaxies sont animées d'une vitesse de fuite apparente proportionnelle à leur distance. On l'interprète comme une conséquence de l'expansion de l'Univers.

Hubble (nébuleuse de). Nébuleuse NGC 2261, découverte par W. Herschel en 1783, dans la constellation de la Licorne.
ENCYCL. De forme triangulaire, elle s'étend sur environ 2' x *V* dans le ciel. Sa magnitude globale moyenne est voisine de 10, mais son éclat présente des fluctuations. Elle renferme à sa pointe une étoile très jeune en cours d'allumage, *R Monocerotis,* sujette à des variations d'éclat très irrégulières. On a pu mettre en évidence des interactions complexes entre cette étoile et la nébuleuse, à partir de laquelle *R Mon* s'est formée. La quasi-totalité du rayonnement de l'étoile est transformée en rayonnement infrarouge par les énormes quantités de poussières qui l'enveloppent. Un important nuage moléculaire associé à cette nébulosité contribuerait à expliquer sa forme particulière. Sa distance est estimée à 6 500 années de lumière.

Hubble (télescope spatial). Satellite d'astronomie développé et exploité en coopération par la NASA et l'Agence spatiale européenne.

ENCYCL. Long de 13,3 m pour un diamètre de 4,3 m, et pesant 11,3 t, Hubble est l'un des grands observatoires spatiaux conçus par la NASA. Emporté dans l'espace par l'orbiteur *Discovery,* il a été satellisé le 25 avril 1990 autour de la Terre, à 612 km d'altitude, sur une orbite inclinée de 28,5° sur l'équateur, qu'il décrit en 95 minutes.

INSTRUMENTATION. Sa charge utile comprend un télescope de type Cassegrain, de 2,40 m de diamètre, muni, à son foyer, de deux chambres photographiques : l'une, à grand champ, pour l'observation des planètes, l'autre pour celle des astres de faible luminosité ; de deux spectrographes : l'un à haute résolution, l'autre pour les objets faiblement lumineux ; et d'un photomètre ultra rapide. Cette instrumentation focale rend le télescope utilisable dans une gamme d'énergie allant de l'ultraviolet à l'infrarouge. L'Europe a contribué pour 15 % au coût du satellite en développant les panneaux solaires (qui fournissent plus de 4,5 kW de puissance électrique) et la caméra pour objets faiblement lumineux, ou FOC *(Faint Objects Caméra),* capable, grâce à son dispositif de comptage de photons, d'observer des objets 30 fois moins lumineux que ceux qu'on peut observer au sol et, grâce à sa capacité d'agrandissement des images, d'atteindre la limite de résolution du télescope, soit 0,1 seconde d'arc. En échange de leur contribution, les Européens ont accès à 15 % du temps d'observation. Un groupe de chercheurs européens participe aussi à l'exploitation du télescope à l'Institut du télescope spatial, à Baltimore (Etats-Unis). Conçu pour rester opérationnel pendant au moins 15 ans, le télescope peut être réparé en orbite par des astronautes ou ramené au sol à bord de la navette spatiale pour révision ou une remise en état complètes. On a découvert après sa mise en orbite que son miroir primaire était affecté d'un défaut de courbure (sphéricité trop faible de 2 millièmes de millimètre à la circonférence). Cette aberration de sphéricité rendait inexécutables certains programmes d'observation prévus, même si des images remarquables ont pu être obtenues grâce à un traitement informatique poussé.

MAINTENANCE. Un dispositif correcteur appelé COSTAR a été installé à la place du photomètre en décembre 1993, lors d'une mission de la navette. À cette occasion, on a remplacé également la caméra planétaire à grand champ par une autre dotée de composants plus élaborés et d'une optique correctrice intégrée, et l'on a changé les panneaux solaires, dont les vibrations dues aux effets thermiques des passages du satellite d'une zone de jour à une zone de nuit perturbaient le pointage du télescope et réduisaient la partie utilisable de l'orbite. Cette mission correctrice a parfaitement réussi et a rendu à l'instrument ses qualités d'origine ; en particulier, la résolution angulaire et la sensibilité atteignent les valeurs théoriques.

Lors d'une deuxième mission de service, en février 1997, les astronautes ont installé un spectrographe imageur (STIS) ainsi qu'un ensemble de trois caméras associées à un spectromètre opérant dans le proche infrarouge (NICMOS) à la place d'un spectrographe pour objets faiblement lumineux (FOS) et d'un spectrographe à haute résolution (GHRS). Ils ont également changé divers dispositifs des systèmes d'orientation, de stabilisation, de protection thermique ou d'enregistrement des données.

Une troisième mission de service, en octobre 1999, doit procéder notamment au remplacement des gyroscopes défaillants et à l'installation d'un nouvel ordinateur de bord. Puis, en 2000, une quatrième mission devrait poursuivre la maintenance et la modernisation de l'instrumentation.

Les images fournies par le télescope Hubble ont permis de nouveËes découvertes' sur les planètes du système solaire. A l'échelle de notre galaxie, elles ont permis d'affiner les connaissances sur la naissance et la mort des étoiles. A plus grande échelle, Hubble a scruté en détail des galaxies actives ou en interaction ; il a permis de mesurer avec précision la distance de galaxies proches et il a découvert des milliers de galaxies lointaines, révélant que la population de galaxies de l'Univers est encore plus nombreuse qu'on ne le pensait. Des études sont déjà en cours pour mettre au point le futur successeur du télescope Hubble **NGST**

Huggins (sir William), astronome britannique (Stoke Newington, Londres, 1824 - Londres 1910).
Pionnier des recherches spectroscopiques, il établit la nature gazeuse de certaines nébuleuses (1864), confirma que les comètes émettent un rayonnement propre (1866), puis identifia dans le spectre de cette lumière la signature d'hydrocarbures (1868) et détermina les vitesses radiales de nombreuses étoiles. En 1881, il obtint la première photographie d'un spectre de comète. Il étudia aussi les protubérances solaires et publia en 1899, avec l'aide de sa femme, un atlas de spectres stellaires.

Hughes Aircraft Company. L'une des principales firmes américaines de constructions aérospatiales, au sein du groupe General Motors.
ENCYCL. Sa filiale Hughes Space and Communications est le premier constructeur mondial de satellites de télécommunications. Une autre filiale, Hughes Network System, est un intégrateur de réseaux de télécommunications et un constructeur de stations terriennes, leader sur le marché des télécommunications domestiques.

Hulse (Russel), astrophysicien américain (New York 1950).
Avec J. Taylor*, dont il fut l'élève, il découvrit (1974) puis étudia le premier pulsar* binaire, grâce auquel tous deux ont pu établir de manière indirecte l'existence des ondes* gravitationnelles, prévues en 1916 par la théorie de la relativité générale d'Einstein, ce qui leur a valu le prix Nobel de physique en 1993.

Humason (Milton La Salle), astronome américain (Dodge Centre, Minnesota, 1891 - Californie, 1972).
Sa passion pour l'astronomie naquit alors qu'il transportait à dos de mulet les pierres destinées à la construction de l'observatoire du mont Wilson, en Californie. Après avoir été quelques années contremaître dans une orangeraie, il revint à l'observatoire en 1917, comme concierge-factotum. Amené à seconder souvent les astronomes, il devint peu à peu un remarquable praticien de la photographie, puis de la spectrographie astronomiques. À partir de 1928, il collabora avec Hubble, obtenant ies sœctr^s *àc* **rcodfaRuses** galaxies et déterminant leurs **vitesses** radiales, afin d'évaluer leurs distances.

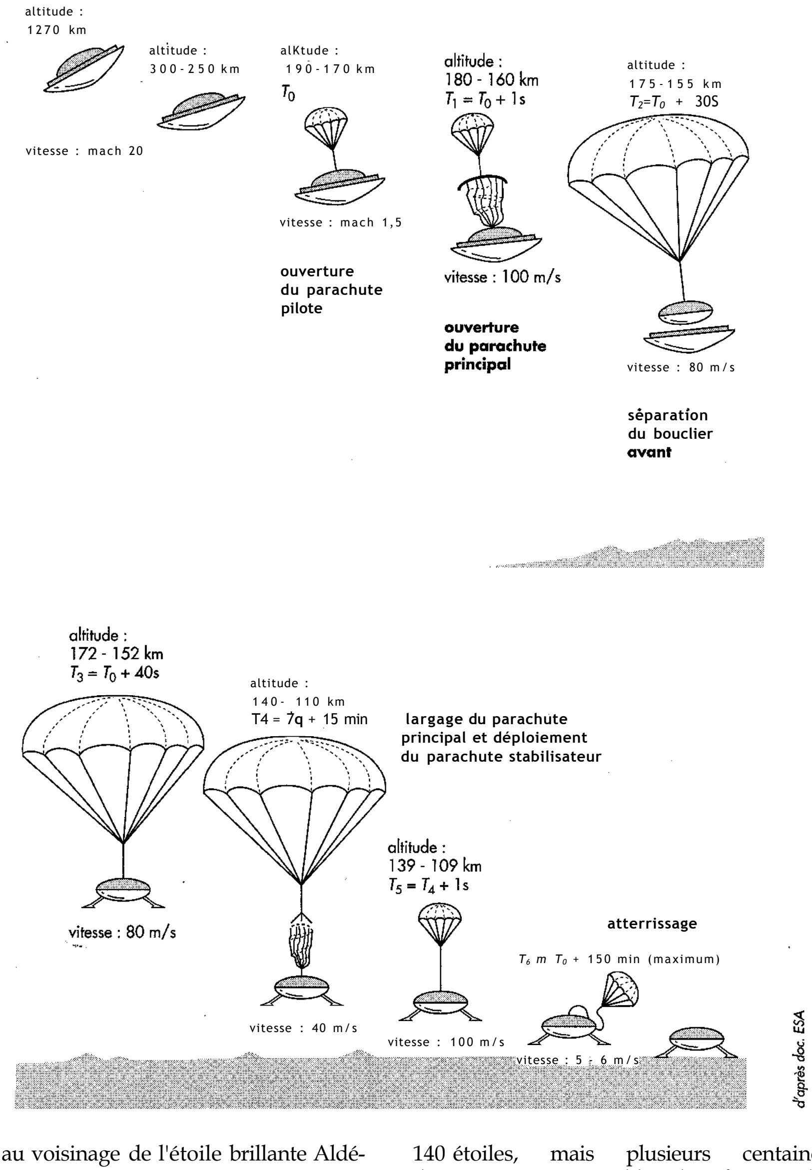
Huygens (Christiaan), mathématicien et astronome hollandais (La Haye 1629 -1695).
C'est pendant son séjour à Paris, où il resta jusqu'en 1680, qu'il fit ses principaux travaux. En astronomie, il inventa une combinaison de lentilles éliminant l'aberration chromatique, toujours utilisée sous le nom d'« oculaire de Huygens », et il doubla la longueur des lunettes astronomiques, ce qui en accrut de beaucoup le grossissement. Ces améliorations lui permirent de découvrir l'anneau de Saturne, ainsi que le premier satellite de cette planète, Titan (1655), la rotation de Mars et sa période, et d'observer la nébuleuse d'Orion (1656). Il eut l'intuition que les étoiles sont des soleils extrêmement lointains et, dans son *Cosmotheoros* (1698), développa l'idée de la pluralité des planètes habitées.

Huygens (sonde). Sonde spatiale automatique européenne d'exploration du principal satellite de Saturne, Titan, qui est placée à bord de la sonde Cassini*.
ENCYCL. Larguée au voisinage de Titan, en principe en 2004, elle atteindra l'astre après un vol balistique de 22 j, traversera son atmosphère, freinée d'abord par un bouclier aérodynamique, puis par un parachute, et se posera à sa surface, sur son hémisphère éclairé. La descente dans l'atmosphère devrait durer 2 ou 3 h et l'impact au sol s'effectuer à une vitesse suffisamment faible (4 à 7 m/s) pour autoriser une analyse de la surface avant que la sonde cesse de fonctionner. D'une masse de 343 kg, Huygens emporte une charge utile de 48 kg, constituée de six instruments pour l'étude de la structure et de la composition de l'atmosphère, des caractéristiques des vents et des nuages ainsi que de celles du sol de Titan. La retransmission des données vers la Terre s'effectuera via la sonde Cassini.

Hya. Abréviation de *Hydra,* désignant la constellation de l'Hydre femelle.

Hyades. Amas stellaire ouvert, en forme de V oblique, dans la constellation du Tau-

La sonde européenne **Huygens** et sa descente dans l'atmosphère de Titan



reau, au voisinage de l'étoile brillante Aldébaran.

ENCYCL. Ce n'est en fait que le noyau d'une agglomération stellaire plus étendue, le « courant du Taureau ». On a pu établir avec certitude l'appartenance à cet amas de 140 étoiles, mais plusieurs centaines d'autres sont susceptibles d'en faire également partie. Son âge serait d'environ 600 millions d'années. L'étude des mouvements propres des étoiles de cet amas montre que leurs trajectoires apparentes conver-

gent vers un point déterminé du ciel : on en déduit que l'amas est en mouvement et s'éloigne du système solaire, à une vitesse d'environ 45 km/s. Toutes les étoiles de l'amas se déplacent, en fait, parallèlement dans l'espace, mais, sous l'effet de la perspective, leurs trajectoires semblent converger. Situé, selon le satellite Hipparcos*, à 149 années de lumière seulement de distance, cet amas est, de beaucoup, le plus proche de tous ceux que l'on connaît dans la Galaxie. Il constitue, pour cette raison, l'étalon fondamental utilisé pour déterminer les distances d'amas stellaires plus lointains.

Hyakutake (comète), comète à très longue période découverte le 31 janvier 1996 par l'astronome amateur japonais Yuuji Hyakutake. Nom officiel : C/1996B2.
ENCYCL. Elle est passée à 15 millions de kilomètres seulement de la Terre le 25 mars 1996, et atteignit alors la magnitude -1, tandis que sa queue de plasma se déployait sur 70° environ. Son passage au périhélie, à 0,23 ua du Soleil, a eu lieu le 1er mai 1996. Des mesures au radar ont révélé que le diamètre de son noyau est compris entre 1 et 3 km. Le satellite Rosat a détecté une émission de rayonnement X provenant de cette comète, ce qui constitue une première : il s'agit vraisemblablement de rayonnement X solaire absorbé par les gaz cométaires et réémis par fluorescence. Les substances détectées dans la comète (parmi lesquelles, pour la première fois, de l'acétylène), ont confirmé que la composition des comètes est très proche de celle des poussières interstellaires. Son orbite a une période d'environ 63 000 ans, une excentricité de 0,9997 et est inclinée de 124,9° sur l'écliptique.

Hydra (-ae). Nom latin de la consteEation de l'Hydre femelle (abrév. *Hya).*

hydrazine n.f. Combinaison d'azote et d'hydrogène, de formule $H_2N\text{-}NH_2$ (molécule formée de 4 atomes d'hydrogène liés à 2 atomes d'azote).
ENCYCL. AUX conditions ordinaires, l'hydrazine est un liquide incolore, très toxique et corrosif. Ses propriétés physiques sont proches de celles de l'eau : sous pression normale, elle se solidifie à 2 °C et bout à 113,5 °C ; sa masse volumique est de 1 004 kg/m^3. C'est une base et un réducteur. Du fait de son instabilité aux températures élevées (en présence d'un catalyseur approprié, elle se décompose en gaz chaud), on l'utilise comme ergol dans des propulseurs de faible poussée (de quelques newtons à quelques centaines de newtons), tels ceux servant à la commande d'orbite ou d'attitude des satellites. L'impulsion spécifique correspondante, dans le vide, vaut approximativement 230 s. L'un de ses dérivés, la diméthylhydrazine dissymétrique, ou UDMH*, est un ergol largement employé.

Hydre femelle (en latin *Hydra, -ae).* Constellation la plus vaste du ciel, qui débute dans l'hémisphère boréal, au sud du Cancer, et se déploie ensuite dans l'hémisphère austral jusqu'à la Balance, bordant au sud le Sextant, la Coupe, le Corbeau et la Vierge.
ENCYCL. Elle s'étend sur environ 100° en ascension droite, et sa forme évoque bien le serpent aquatique qu'elle symbolise depuis l'Antiquité. Son étoile la plus brillante, Alphard*, de magnitude 2, forme avec Régulus et Procyon un triangle rectangle dont elle constitue le sommet le moins lumineux. À l'extrémité nord-ouest de la constellation, où celle-ci s'élargit, Lalande avait créé, à la fin du XVIIIe s., la petite constellation du Chat, qui ne renfermait que des étoiles peu brillantes, réparties à présent entre l'Hydre femelle et la Machine pneumatique.

Hydre mâle (en latin *Hydrus, -i).* Constellation voisine du pôle austral, introduite par J. Bayer dans son *Uranometria,* en 1603.
ENCYCL. Son étoile la plus lumineuse, *a Hyi,* se situe à 5° au sud-est de la brillante Achernar* (a *Eridani).* Elle dessine avec p et a *Hyi* un triangle isocèle dont la base (ligne (3-y) est tournée vers le sud.

hydrogène n.m. Élément chimique de symbole H.
ENCYCL. L'atome d'hydrogène ordinaire est constitué d'un unique proton, autour duquel gravite un seul électron. On connaît deux isotopes de l'hydrogène : le deutérium et le tritium. L'atome d'hydrogène peut être ionisé sous la forme d'ions positifs H^+ ou

négatifs H". L'hydrogène est de loin l'élément le plus abondant de l'Univers -» **abondance.**

Dans le milieu interstellaire froid, on l'observe à l'état neutre par l'émission d'une raie à 21 cm de longueur d'onde ; il peut être ionisé comme dans les régions* HII, au voisinage des étoiles chaudes -> **nébuleuse.**

C'est à partir de l'hydrogène que se forment les éléments plus lourds dans les étoiles*, lors des réactions thermonucléaires.

L'hydrogène est utilisé sous forme liquide en tant que combustible dans les moteurs-fusées les plus performants.

Dès 1903, Tsiolkovski a, le premier, suggéré l'emploi du couple hydrogène-oxygène liquides pour la propulsion des fusées. Par rapport aux autres couples, il permet un gain d'impulsion spécifique de près de 50 %.

Deux particularités physiques compliquent son utilisation :

- une très basse température de liquéfaction (- 253 °C sous la pression atmosphérique normale), qui rend délicats son transport, son stockage et sa manutention ;
- une faible densité (quatorze fois plus faible que celle de l'eau), ce qui conduit à de volumineux réservoirs et à des puissances de pompage extrêmement élevées.

Hydrus (-i). Nom latin de la constellation de l'Hydre mâle (abrév. *Hyi).*

Hygiea. Astéroïde 10, découvert en 1849 par l'Italien A. De Gasparis.

ENCYCL. Demi-grand axe de son orbite : 471 millions de km. Période de révolution sidérale : 5,59 ans. Diamètre : 430 km (c'est le quatrième astéroïde par la taille). Type spectral : C.

Hyi. Abréviation de *Hydrus,* désignant la constellation de l'Hydre mâle.

hypergol n.m. Propergol dont les ergols s'enflamment spontanément dès qu'ils sont mis en contact ; par exemple le peroxyde d'azote et l'hydrazine ou l'UDMH. L'adjectif correspondant est *hyyergolique.*

Hypérion. Satellite de Saturne (n° VII), découvert en 1848 par W. Bond* et, indépendamment, par W. Lassell.

ENCYCL. Demi-grand axe de son orbite : 1 481 100 km. Période de révolution sidérale : 21,276 6 j. Dimensions : 410 x 260 x 220 km. De forme irrégulière, il ne présente aucun signe d'activité interne, mais sa surface est criblée de cratères météoritiques, ce qui témoigne de son ancienneté : de tous les satellites de Saturne dont on a pu étudier la surface, il paraît être celui qui possède la surface la plus ancienne. On le présume constitué entièrement de glace. On explique sa forme irrégulière et allongée par l'existence, à proximité de son orbite, d'une zone chaotique pour les mouvements orbitaux du système Hypérion-Titan-Saturne. On présume qu'à l'instar de nombreux astéroïdes Hypérion a subi des collisions répétées avec d'autres petits corps, mais que, à l'inverse de ce qui se produit généralement, les fragments issus de ces collisions, placés sur des orbites instables de la zone chaotique, se seraient dispersés au lieu de se réagglomérer. Certaines observations semblent indiquer, par ailleurs, des fluctuations rapides (sur une échelle de temps de quelques périodes orbitales seulement) de la vitesse de rotation du satellite sur lui-même et de la direction de son axe de rotation. Celles-ci seraient également le résultat de phénomènes chaotiques.

hypernova n. f. Phénomène s'accompagnant d'une libération d'énergie bien supérieure à celle d'une supernova* et qui pourrait résulter de la coalescence de deux étoiles à neutrons ou de l'accrétion d'étoiles hypermassives (masse atteignant plusieurs dizaines de fois celle du Soleil) par un trou noir.

ENCYCL. L'exceptionnel sursaut* de rayonnement gamma, d'une énergie de 10¨ J, observé pendant moins de 2 minutes le 23 janvier 1999, en provenance d'une source (GRB 990123) située à 10 milliards d'années-lumière, est un exemple d'hypernova.

hypersonique adj. Se dit des vitesses correspondant à un nombre de Mach égal ou supérieur à 5 (soit, à haute altitude, environ 5 000 km/h) ainsi que des engins se déplaçant à ces vitesses. Lors de son retour sur Terre, l'orbiteur de la navette américaine se comporte comme un planeur hypersonique.

I

IAF (sigle de *International Astronautical Fédération)* ->• **Fédération internationale d'astronautique**

IAP. Sigle de *Institut d'astrophysique de Paris.*

IASI (sigle de Interféromètre Atmosphérique de Sondage dans l'Infrarouge). Principal instrument emporté par les satellites météorologiques européens Metop, à partir de 2003.
ENCYCL. Réalisé sous la maîtrise d'œuvre du CNES, ce sondeur infrarouge est un spectromètre conçu pour mesurer le spectre d'émission de l'atmosphère entre 3,7 et 15,5 micromètres. Il permettra d'établir des profils de température et d'humidité avec une résolution verticale de 1 km et une précision respectivement de 1 K et de 10 %.

IC. Abréviation de *Index Catalogue.*

Icare. Astéroïde 1566, du type Apollo, découvert en 1949 par W. Baade*, à l'observatoire du mont Wilson (Californie).
ENCYCL. Son orbite, qu'il décrit en 1,12 an, se caractérise par une excentricité particulièrement forte (0,827) et une inclinaison importante sur l'écliptique (23°). Son périhélie se situe à l'intérieur de l'orbite de Mercure, à 28 millions de kilomètres seulement du Soleil ; son aphélie au-delà de l'orbite de Mars, à 294,5 millions de kilomètres du Soleil. Il peut s'approcher, dans les conditions les plus favorables, à 5 500 000 km seulement de la Terre. Son diamètre estimé n'est que de 1,6 km et l'on pense qu'il s'agit d'un ancien noyau cométaire dépouillé de tous ses matériaux volatils.

Icare. Fils de Dédale, dans la mythologie grecque, héros légendaire du premier vol spatial.
Avec son père, il fut emprisonné par Minos dans le Labyrinthe. Pasiphaé, femme de Minos, les ayant délivrés, ils s'envolèrent au moyen d'ailes fixées à leurs épaules avec de la cire. Icare s'éleva si près du Soleil que la cire fondit ; il perdit alors ses ailes et fut précipité dans la mer.

ICE (sigle de l'angl. *International Cometary Explorer,* explorateur cométaire international). Première sonde spatiale à s'être approchée d'une comète et à avoir étudié *in situ* l'interaction du vent solaire et du plasma cométaire.
ENCYCL. Il s'agissait, en fait, d'un satellite américain d'étude de la magnétosphère terrestre, ISEE 3, lancé en 1978. Celui-ci fut rebaptisé ICE en 1984, à l'issue des manœuvres complexes entreprises pour lui permettre de quitter l'environnement de la Terre et de la Lune, et de se diriger vers la comète Giacobini*-Zinner, dont il survola le noyau le 11 septembre 1985, d'une distance de quelque 8 000 km. L'engin fut ensuite dirigé vers la comète de Halley, qu'il observa d'une distance de 31 millions de kilomètres, le 28 mars 1986.

ICO. Projet de système mondial de téléphonie mobile par satellites décidé par une partie des membres de l'organisation Inmarsat qui ont constitué, dans ce but, en janvier 1995, la société privée et commerciale, de droit anglais, ICO Global Communications. Lorsqu'il sera complet, il comprendra une constellation de dix satellites (plus deux en

réserve), de 2,7 t au lancement, répartis également dans deux plans, à 10 355 km d'altitude. Sa mise en service est attendue en 2000.

IDA. Sigle de *InternationalDark-sky Association.*

Ida (du nom de la nourrice de Zeus dans la mythologie grecque). Astéroïde 243, découvert en 1884.
ENCYCL. Cet astéroïde, membre de la famille de Koronis*, tourne autour du Soleil en 1,83 an à une distance moyenne de 428,4 millions de kilomètres. C'est un corps approximativement ellipsoïdal, dont les diamètres principaux mesurent 52,30 et 24 kilomètres. Il tourne sur lui-même en 4,63 h. Deuxième astéroïde à être approché par une sonde spatiale, il a été survolé le 28 août 1993 par la sonde Galileo*, d'une distance minimale de 2 400 km. Lors de ce survol, la sonde a pris 150 photographies d'Ida, montrant le tiers environ de sa surface ; sur les meilleures photographies, les plus fins détails perceptibles mesurent moins de 40 m ; sa surface apparaît très accidentée, criblée de cratères dont certains ont des bords très érodés, ce qui témoigne de leur ancienneté. L'une des images a révélé la présence d'un minuscule satellite, gravitant à une centaine de kilomètres de la surface d'Ida. Ce petit corps a été nommé *Dactyle**. Les deux objets semblent être des astéroïdes de type S (à base de silicates).

IDS -*• Initiative* de défense stratégique

IFHE. Sigle de *Institut français de l'histoire de l'espace.*

IHW (sigle de *International Halley Watch,* Veille internationale de Halley). Organisation internationale créée en 1982 pour coordonner, normaliser, archiver et diffuser les observations de la comète de Halley* durant sa période de visibilité, avant et après son retour près du Soleil en 1986.

Ikarus. Équipement individuel russe permettant aux cosmonautes d'évoluer dans l'espace en toute autonomie au voisinage de leur station orbitale. Il est également désigné sous le sigle CPK, d'une expression russe qui signifie « moyen de déplacement pour cosmonaute ».
ENCYCL. Tout comme le MMU* mis au point par les États-Unis, Ikarus ressemble à un fauteuil dépourvu de siège. Il pèse 220 kg et est équipé de trente-deux propulseurs qui consomment de l'air comprimé. Ikarus est utilisé pour la première fois en 1990, depuis la station Mir :
- le 1er février, A. Serebrov est le premier cosmonaute à l'expérimenter ; il multiplie les modes de déplacement, fait varier sa vitesse, sans toutefois s'éloigner de plus d'une trentaine de mètres ;
- le 5 février, A. Viktorenko manœuvre à son tour ce « fauteuil spatial », s'éloigne jusqu'à 45 m de la station en parcourant un total d'environ 200 m.

Ikeya-Seki (comète). Comète découverte le 18 septembre 1965 par les deux astronomes amateurs japonais dont elle porte le nom, Kaoru Ikeya et Tsutoma Seki, et qui devint très brillante.
ENCYCL. Le 21 octobre 1965, elle passa à 480 000 km seulement du Soleil et son noyau se brisa en deux. Elle développa ensuite une très longue queue de poussières. Celle-ci, à la fin octobre, couvrait le quart de la sphère céleste et s'étendait sur près de 200 millions de kilomètres, avant l'aube. C'est l'une des comètes du groupe de Kreutz*. Désignation officielle : 1965 VIII.

IKI (sigle russe signifiant *Institut de recherches cosmiques).* Institut de l'Académie des sciences russe, situé à Moscou, qui constitue aujourd'hui le plus important laboratoire de recherche spatiale de la CEI.

image n.f. Dans les techniques spatiales d'observation de la Terre (météorologie, télédétection, reconnaissance militaire, etc.) ou de l'Univers (satellites astronomiques et sondes spatiales), représentation plane d'un paysage obtenue à partir d'un enregistrement structuré de données.
ENCYCL. Selon le procédé de prise de vues utilisé, on distingue deux catégories d'images : la photo-satellite, obtenue par le procédé photographique, et l'image-satellite, obtenue au moyen d'un capteur électroni-

que, par exemple un radiomètre ou un radar : les images recueillies par les satellites météorologiques ou de télédétection comme Landsat ou SPOT sont de ce type.

image-satellite n.f. Document réalisé depuis un satellite artificiel au moyen d'un capteur non photographique comme un radiomètre ou un radar.

imageur n.m. et adj. En télédétection, désigne ou qualifie un instrument (radar, radiomètre, etc.), permettant d'obtenir des images.

imbrûlés n.m.pl. Résidus d'ergols subsistant après l'extinction d'un moteur-fusée.

IML (sigle *de InternationalMicrogravity Laboratory,* laboratoire international de microgravité). Laboratoire spatial habité (construit à partir du module Spacelab) proposé par les Etats-Unis à la communauté scientifique mondiale pour des recherches sur les sciences de la vie et des matériaux, à bord de la navette américaine, et dont la première mission a eu lieu en 1992.

immersion n.f. Début d'une occultation.

impesanteur n.f. Disparition des effets de la pesanteur.

ENCYCL. Pour les physiciens, l'impesanteur est un état caractérisé par le fait que la résultante des forces gravitationnelles et inertielles agissant sur un corps est nulle.

Dans l'espace, en réalité, on n'observe jamais la suppression totale de la pesanteur mais sa réduction dans des proportions plus ou moins importantes : il subsiste toujours une pesanteur résiduelle, généralement comprise entre un millième et un millionième de la pesanteur terrestre, soit de 10^{-3} à 10^{-5} g. Il serait donc plus approprié de parler de sous-pesanteur ou de micropesanteur*. Les deux termes existent mais sont rarement utilisés : le terme microgravité, pourtant impropre, leur est préféré.

OBTENTION DE L'IMPESANTEUR. D'un point de vue physique, l'impesanteur est nécessairement associée à la notion de chute libre. Un spationaute (ou un instrument) se trouve en impesanteur s'il n'est exposé qu'à des forces gravitationnelles, à l'exclusion de toute autre force.

Une situation imaginaire aidera à préciser la nuance. Tout homme connaît, à la surface de la Terre, une pesanteur « normale ». Qu'advient-il si le sol s'entrouvre sous ses pieds ? Il est précipité dans ce gouffre et (à condition de le supposer débarrassé de toute trace d'atmosphère laquelle freinerait le mouvement) tombe en chute libre, donc se trouve en état d'impesanteur. Telle est d'ailleurs, dans un tout autre contexte, la situation des spationautes en orbite terrestre.

Pour accéder à l'impesanteur, la recherche spatiale dispose de différents moyens. Tous sont fondés sur la mise en chute libre d'hommes ou d'expériences au moyen de satellites, de fusées-sondes, d'avions ou de tours d'impesanteur.

CONSÉQUENCES DE L'IMPESANTEUR. Elles sont spectaculaires dans les vaisseaux habités : le poids a disparu, les spationautes flottent dans l'habitacle, ils éprouvent des difficultés pour se déplacer, travailler, se nourrir et dormir, leur organisme est agressé (redistribution de la masse sanguine, perturbations de l'équilibre, déminéralisation osseuse).

Sur les animaux, les espèces végétales et la matière inerte, les modifications sont également très importantes : elles font l'objet de ce qu'on appelle les recherches en microgravité*.

SIMULATION DE L'IMPESANTEUR. Sur Terre, il est impossible de supprimer durablement la pesanteur. Mais certains effets sur l'homme peuvent être partiellement simulés, par exemple :

- sur son système cardio-vasculaire : il suffit d'allonger un patient sur le doS, les pieds légèrement surélevés par rapport à la tête, pour observer une redistribution de la masse sanguine comparable à celle provoquée par l'impesanteur ; les chercheurs en médecine* spatiale utilisent fréquemment ce mode de simulation ;
- sur sa mobilité au cours des sorties dans l'espace, il suffit de l'immerger dans une piscine pour constater que la poussée d'Archimède l'aide à flotter et à évoluer dans des conditions apparemment proches de celles rencontrées en orbite. Pour cette raison, l'entraînement en piscine constitue la meilleure

façon de préparer, sur Terre, les activités extravéhiculaires des spationautes.

impulsion spécifique. Paramètre caractérisant les performances d'un moteur-fusée et le pouvoir propulsif d'un propergol.
ENCYCL. C'est le rapport de la poussée au débit de poids éjecté (produit de l'accélération de la pesanteur au niveau du sol, g_0, par le débit massique d'ergols, q) : $I_{sp} = F/q \cdot g_0$ (F en newtons, q en kg/s, g_0 = 9,81 m/s^2). L'impulsion spécifique est un temps et s'exprime en secondes. Sa valeur dans le vide diffère de celle au sol. Lorsque la poussée et le débit restent constants, l'impulsion spécifique correspond au temps pendant lequel le moteur pourrait fournir une poussée égale au poids du propergol consommé.

IMRT. Sigle de *Indo-Mauritian Radio Telescop>e.*

inclinaison n.f. Angle que forme le plan de l'orbite d'un astre ou d'un engin spatial avec un plan de référence, et orienté dans le sens du mouvement.
ENCYCL. Sa valeur est comprise entre 0 et 90° si le mouvement est direct, entre 90 et 180° s'il est rétrograde. Lorsque l'orbite considérée est celle d'une planète, le plan de référence choisi est l'écliptique ; lorsque l'orbite considérée est celle d'un satellite, naturel ou artificiel, le plan de référence choisi est en général celui de l'équateur du corps autour duquel gravite le satellite.
Dans le cas des satellites artificiels de la Terre, l'inclinaison initiale d'une orbite ne peut être inférieure à la latitude de la base de lancement (sauf manœuvres coûteuses en énergie). La valeur de l'inclinaison (i) détermine la fraction de la surface terrestre survolée par le satellite c'est la bande délimitée par les latitudes i° nord et i° sud. -* **éléments orbitaux**

inclinant adj. Caractérise un cadran solaire dont le plan n'est ni vertical ni horizontal, mais oblique.

Ind. Abréviation de *Indus,* désignant la constellation de l'Indien.

Index Catalogue. Catalogue d'objets non stellaires (nébuleuses et galaxies) publié par J.L. E. Dreyer en 1895 (IC I) et en 1908 (IC II) en supplément de son *New General Catalogue.* Il répertoire environ 5 000 objets, désignés par le sigle IC suivi d'un numéro d'ordre.

indiction (romaine). Nombre exprimant le rang qu'occupe une année dans une période de quinze ans, perpétuellement renouvelée.
ENCYCL. Introduite à Rome, au temps des empereurs, en relation avec la perception d'un impôt exceptionnel prélevé tous les 15 ans, l'indiction est devenue, plus tard, l'un des éléments du comput ecclésiastique, mais elle ne joue aucun rôle dans la détermination de la fête de Pâques. Elle a pour valeur le reste de la division par 15 du millésime de l'année, augmenté de 3 ; toutefois, lorsque ce reste est nul, l'indiction vaut 15. Depuis le pape Grégoire VIII, la date prise pour origine des périodes de l'indiction est le 1er janvier 313.

Indien (en latin *Indus, -î).* Constellation australe. Introduite par J. Bayer en 1603, dans son *Uranometria,* elle ne renferme que des étoiles peu brillantes, de magnitude apparente supérieure à 3.

Indo-Mauritian Radio Telescope (IMRT). Radiotélescope indien mis en service en 1993 à l'île Maurice, dans l'océan Indien.
ENCYCL. Il comprend un réseau d'antennes en hélice, de 4 m^2 de surface collectrice chacune, disposées en T. Le bras est-ouest, long de 2 km, comporte 1 024 antennes fixes ; le bras nord-sud, long de 1 km, 32 groupes de quatre antennes disposés sur des chariots mobiles, sur une voie ferrée. L'ensemble représente une aire collectrice équivalente à celle d'un radiotélescope de 1 km de diamètre et a une résolution de 4'. L'instrument est utilisé sur une longueur d'onde de 2 m. Sa situation est idéale pour l'étude du centre galactique, des Nuages de Magellan et des régions du ciel austral, où se forment de nouvelles étoiles.

inégalité n.f. Expression mathématique qui traduit l'écart entre le mouvement ob-

servé d'un corps céleste et un mouvement idéal, circulaire et uniforme de ce corps autour d'un corps central.

inflation n.f. Phase d'expansion extrêmement rapide qu'aurait connue l'Univers une fraction de seconde après le Big* Bang, selon certains cosmologistes.

ENCYCL. L'énergie colossale nécessaire à cette expansion aurait eu pour origine une transformation du vide quantique. Aux températures extraordinairement élevées qui régnaient juste après le Big Bang, matière et antimatière évoluaient alors en parfaite symétrie. 10"^{35} seconde après le Big Bang, la température étant tombée à 10ˆ K, cette symétrie se serait brisée spontanément, produisant une transition de phase : l'interaction* nucléaire et l'interaction électrofaible se seraient différenciées. L'énergie colossale du vide quantique lui aurait permis d'exercer une pression importante sur l'espace environnant : l'Univers, poussé par cette pression fantastique, aurait alors connu une phase exponentielle d'expansion. Celle-ci se serait arrêtée lors d'une nouvelle transition de phase.

La théorie de l'inflation de l'Univers, dont il existe plusieurs variantes, demeure encore très spéculative.

infrarouge (astronomie). Branche de l'astronomie qui étudie le rayonnement électromagnétique émis par les astres dans le domaine de longueurs d'onde situé entre celui du visible et celui des ondes radio submillimétriques, c'est-à-dire 0,8 pm à 0,1 mm environ.

ENCYCL. Couvrant plus de 10 octaves sur la gamme du spectre électromagnétique, ce domaine est très étendu, avec pour corollaire une grande diversité parmi les sources de rayonnement étudiées : depuis les noyaux de galaxies actives jusqu'aux sources les plus froides comme les grands nuages de gaz interstellaires, en passant par les planètes et les étoiles en formation. La détection du rayonnement infrarouge se trouve cependant confrontée à de très sérieuses limitations, dont les principales sont l'absorption atmosphérique et l'émission parasite de l'environnement. Un objet sombre à la température ambiante émet surtout vers 10 pm. Tout l'environnement est donc une source d'émission infrarouge parasite : télescope, coupole, instruments, atmosphère. Le rayonnement de l'astre observé est alors noyé dans un fond général d'intensité jusqu'à un miËion de fois supérieure. Pour s'affranchir de cet obstacle, on isole au maximum le détecteur (bolomètre*, détecteur à semi-conducteurs) en l'enfermant dans une enceinte à très basse température - donc peu émissive - refroidie à l'azote ou à l'hélium liquides, et on dispose des filtres froids qui absorbent les radiations non étudiées. Malgré cela, le rayonnement parasite reste important, notamment celui de l'atmosphère qui, lui, en outre, varie dans le temps. Pour réduire ce problème, on observe alternativement dans la direction de l'astre visé et dans une région suffisamment voisine du ciel pour que l'émission de l'atmosphère y soit identique. L'astronome travaillant dans l'infrarouge peut observer de jour comme de nuit, l'environnement demeurant toujours aussi brillant pour lui.

L'atmosphère terrestre offre un obstacle supplémentaire de taille puisque la vapeur d'eau qu'elle contient la rend opaque sur la plus grande partie du spectre infrarouge. Seules existent quelques « fenêtres » de transparence, toutes situées en deçà de 30 pm de longueur d'onde. Ce sont les uniques radiations infrarouges célestes que l'on peut capter depuis le sol. La qualité de ces fenêtres est très notablement améliorée lorsqu'on s'élève en altitude ; le plus grand centre mondial d'observation infrarouge du ciel se trouve ainsi à 4 200 m d'altitude, au sommet du Mauna Kea, un volcan éteint de l'île d'Hawaii. Pour gagner encore en altitude, on utilise l'avion, le ballon ou le satellite. Le principal observatoire aéroporté est le *Kuiper* Airbome Observatory* de la NASA. Le ballon stratosphérique est une autre possibilité largement exploitée. Le développement de ballons de très grande capacité (1 million de m^3) permet désormais d'emporter des appareillages de plusieurs tonnes à 40 km d'altitude pour des durées de vol de plusieurs dizaines d'heures. Mais c'est en accédant à l'espace que l'astronomie infrarouge a franchi une étape nouvelle de son développement. -» **IRAS, ISO**

infrarouge couleur → **fausse couleur**

infrastructure orbitale. Ensemble des éléments interdépendants placés en orbite terrestre et constitutifs d'un système spatial.

Initiative de défense stratégique (IDS). Ensemble de programmes d'études lancés aux États-Unis visant à l'élimination de la menace des missiles balistiques intercontinentaux, notamment à partir de systèmes spatiaux.
ENCYCL. L'IDS, parfois appelée « guerre des étoiles », est née du discours prononcé par le président Reagan, le 23 mars 1983, dans lequel il proposait d'entamer « un programme visant, par des mesures défensives, à contrecarrer la terrible menace que les missiles soviétiques font peser sur nous ». L'objet initial de l'IDS était d'engager un vaste programme de recherches dans le but de construire une défense en strates devant être en mesure d'intercepter toute frappe de missiles balistiques lors des quatre phases successives de leur trajectoire : propulsion, séparation des leurres et des ogives, apogée, rentrée dans l'atmosphère.
Le 13 mai 1993, Lee Aspin, secrétaire américain à la Défense, annonçait officiellement l'abandon de l'IDS, au motif que les États-Unis avaient désormais besoin d'un système de défense antimissiles balistiques mais non du programme massif d'armes spatiales préconisé dix ans auparavant par R. Reagan.
Au total, en dix ans, plus de 32 milliards de dollars ont été consacrés à l'IDS. Cet effort d'innovation technologique sans précédent, s'il n'a pas débouché sur des systèmes opérationnels, a du moins bénéficié à un grand nombre de laboratoires de recherche et de firmes industrielles travaillant dans le domaine aérospatial.

injecteur n.m. Élément d'un moteur-fusée servant à la pulvérisation et à l'homogénéisation des ergols liquides dans la chambre de combustion.

injection sur orbite. Phase cruciale de toute satellisation correspondant, à la fois, à la fin du lancement et à la libération de la charge utile, qui entame sa première révolution.
ENCYCL. L'objectif de tout lancement spatial est d'amener une charge utile en un « point » précis de l'espace (le point d'injection) et de lui communiquer, en ce point (qui est généralement le périgée de l'orbite visée), une vitesse bien définie (en grandeur et en direction). Par exemple, lors d'une injection sur l'orbite de transfert géostationnaire, Ariane 4 arrive, en fin de course, avec une vitesse (dirigée perpendiculairement à la verticale locale) qui vaut 10 250 m/s... à 5 m/s près. Tout écart par rapport aux valeurs théoriques se répercute sur les caractéristiques de l'orbite obtenue (sa position dans l'espace, l'altitude de l'apogée...), SYN. : *mise en orbite, satellisation*

Inmarsat (acronyme de *INternationalMARitime SATellite organization).* Organisation internationale de télécommunications maritimes par satellites, officiellement constituée le 16 juillet 1979, dont le siège est à Londres. Elle est devenue compagnie privée en avril 1999.
ENCYCL. Au 1er janvier 1999, elle comptait 84 pays membres (contre 28 à l'origine) et exploitait un système de neuf satellites (dont quatre utilisés de façon opérationnelle) lui permettant de fournir des services de téléphonie, télex, télécopie, transmission de données et de communications d'urgence et de détresse à des milliers de bateaux de toutes sortes (pétroliers, méthaniers, navires de forage, yachts, cargos, bateaux de pêche, etc.) et terminaux transportables. En 1989, elle a étendu ses services à deux autres catégories d'usagers : les mobiles terrestres et les avions.
Pour disposer d'une couverture quasi mondiale, Inmarsat a commencé par louer, totalement ou partieËement, certains satellites géostationnaires (Marisat, Marées et Intelsat), à poste au-dessus des océans Atlantique, Pacifique et Indien, avant de commander ses propres satellites (quatre exemplaires ont été lancés entre octobre 1990 et avril 1992). La génération suivante, Inmarsat 3, comprend cinq satellites qui ont été lancés entre avril 1996 et février 1998. Ils sont équipés d'une charge utile de navigation qui leur permettra de compléter les systèmes de satellites de navigation américains GPS* et russes Glonass* → **GNSS, ICO.**

Insat. Système spatial de l'Inde concernant à la fois les télécommunications, la radiodiffusion, la collecte de données et la surveillance météorologique. Il utilise des satellites géostationnaires mis à poste au-dessus de l'océan Indien.

ENCYCL. La première génération, Insat 1, a compté quatre satellites opérationnels lancés entre 1982 et 1988. Les cinq premiers satellites de la deuxième génération, Insat 2, ont été lancés entre 1992 et 1999.

Institut d'astrophysique de Paris (IAP). Laboratoire français de recherche en astrophysique, créé en 1936 et dépendant du département des sciences de l'Univers du CNRS.

ADRESSE : 98 bis, boulevard Arago 75014 Paris.

Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides. Organisme de recherche français créé en 1998 et dont les attributions sont celles antérieurement dévolues au Service des calculs et de mécanique céleste du Bureau des longitudes (recherches en mécanique céleste et en astronomie fondamentale, calculs et publications d'éphémérides).

Institut de radioastronomie millimétrique (IRAM). Organisme franco-germano-espagnol créé en 1979 pour le développement des recherches en radioastronomie dans le domaine des ondes millimétriques.

ENCYCL. Il comporte un centre scientifique, technique et administratif, situé à Grenoble ; des bureaux et un laboratoire à Grenade (Espagne), et deux observatoires : l'un, en Espagne, à 2 920 m d'altitude, légèrement au-dessous du sommet du pico Veleta, dans la Sierra Nevada, qui est doté d'un radiotélescope à antenne unique de 30 m de diamètre, mis en service en 1985 ; l'autre, en France, à 2 552 m d'altitude, sur le plateau de Bure, près de Gap, qui est équipé d'un radio-interféromètre, en service depuis 1990, formé de 5 antennes de 15 m de diamètre.

Institut français d'histoire de l'espace (IFHE). Association française sans but lucratif fondé en 1999 pour promouvoir les travaux concernant l'histoire de la conquête spatiale et favoriser l'identification et la conservation du patrimoine spatial français.

ADRESSE : 139, rue de Picpus 75012 Paris.

Institut national des sciences de l'Univers (INSU). Établissement du Centre national de la recherche scientifique, créé par décret le 13 février 1985, qui a succédé, en France, à l'Institut national d'astronomie et de géophysique (créé en 1967) en élargissant sa mission à l'ensemble des sciences de la Terre.

INSU. Sigle de Institut* National des Sciences de l'Univers.

Intégral (abrév. de l'angl. *INTErnational Gamma Ray Astrophysics Laboratory*, Laboratoire international d'astrophysique du rayonnement gamma). Observatoire spatial d'astronomie gamma, dont la réalisation a été décidée en 1993 par l'Agence spatiale européenne.

ENCYCL. Développé en collaboration avec la NASA et l'Institut de recherche spatiale russe IKI, ce satellite doit poursuivre, avec de bien meilleures performances, les observations réalisées par le satellite russe Granat et le satellite américain Compton*. Il opérera dans une gamme d'énergies allant de 3 keV à 10 MeV. Il combinera une haute sensibilité, un haut pouvoir de résolution en énergie (20 fois meilleur que celui de Compton) et une haute résolution angulaire (15 fois meilleure environ que celle de Compton). Sa charge utile scientifique comprendra quatre instruments, alignés et capables d'observer simultanément la même région du ciel. Il utilisera une plate-forme identique à celle de XMM*.

Les deux instruments principaux sont un imageur, pour l'imagerie de sources discrètes dans la gamme d'énergies comprises entre 50 keV et 10 MeV, et un spectromètre pour des mesures fines de raies gamma et la cartographie de sources diffuses. Les sources discrètes devraient être localisées à quelque 17' près dans le ciel. Les deux autres instruments sont destinés à permettre des observations complémentaires, l'un dans le domaine du rayonnement X, l'autre dans

celui de la lumière visible (pour capter les éclairs lumineux susceptibles d'accompagner les sursauts de rayonnement gamma). Le lancement du satellite, sur une orbite de forte excentricité, est prévu en septembre 2001, par une fusée russe Proton. Sa durée de vie espérée sera de deux ans (avec une prolongation souhaitée de cinq ans).

intégration n.f. Opération qui consiste à assembler les différentes parties d'un système et à assurer leur compatibilité ainsi que le bon fonctionnement d'un système complet.

ENCYCL. L'assemblage et les essais d'un satellite exigent un environnement très propre : ils ont lieu dans un local spécifique, la salle d'intégration (ou salle blanche), dont l'atmosphère est contrôlée et dépoussiérée. Les intervenants n'y pénètrent que revêtus d'une tenue adaptée (blouse, bonnet, bottillons et gants) qui rappelle celle du personnel qui travaille en salle de chirurgie.

Le terme *intégration* désigne aussi bien la construction du satellite que sa mise en place sur le lanceur.

Intelsat (acronyme de *INternational TELecommunications SATellite organization).* Organisme international qui possède et exploite un système de télécommunications par satellites à couverture quasi mondiale (les régions de latitude élevée en sont exclues), et dont le siège se trouve à Washington.

ENCYCL. Intelsat naît le 20 août 1964 avec la signature (par onze pays) d'accords intérimaires. Au 1er janvier 1999, 143 États en étaient membres.

Son fonctionnement est celui d'une coopérative financière. Ses recettes, qui proviennent de la location de répéteurs de satellites, sont calculées de façon à couvrir les dépenses d'exploitation, l'amortissement du système et la rémunération du capital des signataires. Au 24 avril 1998, les États-Unis détenaient la part la plus importante d'Intelsat avec 18 %, devançant le Royaume-Uni (5,7 %), l'Italie (5,1 %), la Norvège (4,6 %), l'Allemagne (3,4 %), la France (2,9 %), etc. Le système Intelsat se compose aujourd'hui d'une vingtaine de satellites géostationnaires, maintenus à poste au-dessus des océans Atlantique, Pacifique et Indien, et d'un réseau de plus de 900 stations terrestres (qui restent la propriété des pays où elles sont situées). Plus de 200 États, territoires et dépendances sont reliés entre eux via Intelsat. Chaque jour, des centaines de millions d'usagers sont desservis.

Intelsat fournit environ les deux tiers des télécommunications intercontinentales (téléphone, télévision, transmission de données...). Plus de 40 pays utilisent également le système pour des télécommunications à l'intérieur de leurs propres frontières.

Depuis 1965, une cinquantaine de satellites Intelsat ont été lancés. Aujourd'hui, ce sont ceux des 5e, 6e, 7e et 8e générations qui servent (ces derniers ayant une capacité pouvant atteindre 112 500 circuits téléphoniques numériques simultanés... contre 240 circuits en 1965). La génération suivante, Intelsat 9, est attendue après l'an 2000.

intensificateur d'image. Tube électronique à cible photosensible formant, sur la couche fluorescente opposée, une image dont la luminance est un multiple de celle formée sur la cible, SYN. : *amplificateur de brillance* (ou *de luminance), tube image.*

ENCYCL. Ce dispositif est un récepteur très utilisé en astronomie. Plusieurs étages photomultiplicateurs successifs permettent d'obtenir une image considérablement plus lumineuse que l'image initiale : avec quatre étages, l'amplification est de l'ordre de 10^8. Le détecteur final peut être une caméra de télévision ou un CCD*.

interaction fondamentale. Action réciproque entre les constituants fondamentaux de la matière.

ENCYCL. La matière constituant l'Univers peut subir quatre types d'interactions fondamentales :

- l'interaction gravitationnelle, régie soit par la loi d'attraction de Newton, soit par la théorie de la relativité générale d'Einstein ;
- l'interaction électromagnétique (qui explique les phénomènes électriques et magnétiques), décrite par les équations de Maxwell ;
- l'interaction nucléaire (ou interaction forte), qui explique la cohésion et les propriétés des noyaux atomiques ;

- l'interaction faible, responsable notamment de la radioactivité |3
L'interaction gravitationnelle (infime à l'échelle microscopique) et l'interaction électromagnétique peuvent agir à longue distance, tandis que l'interaction forte et l'interaction faible sont à courte portée et ne s'exercent qu'à l'échelle atomique ou nucléaire. Des travaux récents ont permis d'unifier, c'est-à-dire de décrire par le même formalisme, l'interaction faible et l'interaction électromagnétique : l'interaction unique qui en résulte est dite *électrofaible.*
On espère pouvoir un jour réaliser l'unification de cette dernière avec l'interaction forte : les physiciens s'efforcent de bâtir une théorie de la grande unification (GTU).
Enfin, la théorie de la *supergravité* est une tentative d'unification incluant la gravitation.

Interamnia. Astéroïde 704, découvert en 1910 par l'Italien V. Cerulli. Demi-grand axe de son orbite : 458 millions de km. Période de révolution sidérale : 5,34 ans. Diamètre : 330 km (c'est le sixième astéroïde par la taille). Type spectral : C.

Intercosmos. Comité de l'Académie des sciences russe créé pour favoriser la coopération internationale dans le domaine de la recherche spatiale à des fins pacifiques.
ENCYCL. Cette collaboration se développe progressivement dès 1957 entre nations socialistes, et neuf d'entre elles signent la Convention d'Intercosmos, à Moscou, en avril 1967 : Allemagne de l'Est, Bulgarie, Cuba, Hongrie, Mongolie, Pologne, Roumanie, Tchécoslovaquie et URSS. Le Viêt-nam les rejoindra en 1979. Rapidement, d'autres pays comme la France, l'Inde ou la Suède collaborent à leurs travaux.
Aux thèmes de recherches initiaux (étude de l'atmosphère, météorologie, géophysique, télécommunications...) s'ajoutent notamment, vers 1975, l'observation de la Terre, l'astronomie, la médecine et la biologie spatiales, les vols habités, etc.
Intercosmos a permis le lancement d'une vingtaine de satellites et d'une dizaine de fusées-sondes de géophysique (Vertikal), la réalisation d'une dizaine de missions habitées internationales à bord des stations Saliout et Mir, etc.
C'est par son intermédiaire que la France a entrepris, en 1966, une coopération dans le domaine spatial avec l'URSS (programmes Araks, PVH, Vega, Phobos...).

Intercosmos. Satellites scientifiques réalisés dans le cadre du comité Intercosmos et lancés par l'ex-URSS.
ENCYCL. Les résultats obtenus appartiennent à la communauté des chercheurs impliqués. De 1969 à 1994, 25 satellites ont été mis sur orbite.

interétage n.m. et adj. Désigne ou qualifie la partie de la structure d'un lanceur (jupe ou compartiment) qui assure la séparation par découpage pyrotechnique de deux étages adjacents.

interface n.f. Limite commune à deux systèmes leur permettant des échanges.

interféromètre n.m. 1. Dispositif qui utilise l'interférence de deux faisceaux lumineux distincts issus d'une même source et pénétrant dans une lunette ou un télescope. **2.** Ensemble de deux ou plusieurs instruments (télescopes, radiotélescopes) braqués simultanément sur le même objet et reliés de teËe sorte que les signaux (lumineux, radio) qu'ils captent subissent le phénomène d'interférence. On accroît ainsi le pouvoir de résolution des instruments utilisés, ce qui permet de séparer les composantes de certaines étoiles doubles ou de mesurer les diamètres de diverses étoiles, des planètes et de leurs satellites. >• **interférométrie, radio-interférométrie**

interférométrie à très longue base —• radio-interférométrie

interférométrie n.f. Technique de mesure utilisant les interférences. *Interférométrie optique :* technique utilisant les interférences de la lumière des étoiles ou, plus généralement, de sources de petit diamètre apparent, en vue d'améliorer la résolution des observations effectuées au moyen de lunettes ou de télescopes.
ENCYCL. L'interférométrie optique fournit un

moyen de mesurer le diamètre des étoiles ou l'écartement des composantes d'étoiles doubles serrées en améliorant le pouvoir de résolution des instruments d'observation, dégradé par la turbulence atmosphérique (et donc en approchant de la limite théorique imposée par la diffraction).

HISTORIQUE. C'est Armand Hippolyte Fizeau qui, le premier, en 1868, songea à utiliser les interférences lumineuses pour la mesure des diamètres des étoiles.

Pour ce faire, il proposait de placer devant l'objectif de l'instrument d'observation (lunette ou télescope) un écran percé de deux petites ouvertures, afin que l'image d'une étoile, observée à l'aide d'un oculaire fortement grossissant, apparaisse comme une tache zébrée de franges d'interférences produites par la combinaison des faisceaux lumineux issus de chacune des deux ouvertures et plus ou moins visibles selon l'écartement de ces dernières. Cette idée fut appliquée pour la première fois en 1873 par H. Stephan à l'observatoire de Marseille, avant d'être reprise aux États-Unis, à partir de 1890, par A. Michelson, puis par E G. Pease.

Depuis la fin de la Seconde Guerre mondiale sont apparues de nouvelles techniques d'interférométrie stellaire optique, notamment l'interférométrie des tavelures*, au début des années 70, fondée sur l'analyse statistique de nombreuses images instantanées. Toutefois, l'interférométrie réalisée à l'aide d'un dispositif monté sur un grand télescope ne permet pas, dans le meilleur des cas, d'obtenir une résolution angulaire inférieure à 0,02" environ, soit la limite de résolution imposée par la diffraction à un télescope de 6 m environ de diamètre. Pour obtenir des performances supérieures, on doit combiner les signaux reçus par deux ou plusieurs télescopes indépendants. Cette méthode est déjà couramment employée en radioastronomie **(-» radio-interféromètre).** Son application au domaine optique conduit à superposer dans un même plan focal les images formées au foyer de plusieurs télescopes.

intergalactique adj. Qui est situé entre les galaxies.

ENCYCL. La recherche d'un milieu intergalactique, constitué de gaz et de poussières, dans lequel baigneraient les galaxies et les amas qui les rassemblent, est menée à la fois entre les amas et à l'intérieur de ceux-ci. L'émission radio des radiogalaxies avec une structure double très étendue présentant une queue plus ou moins courbée s'interprète comme étant due à l'interaction avec un gaz intra-amas lors du déplacement de ces galaxies au sein des amas auxquels elles appartiennent. La présence d'un tel gaz (dont la masse volumique est comprise entre 10^{-17} et 10^{-30} g • cm^{-3}) très chaud (sa température est d'environ 10^{-} K) a été confirmée, à l'aide de satellites, par la détection de l'émission de rayonnement X de plusieurs dizaines d'amas de galaxies. Le gaz intra-amas représente une masse égale à celle des galaxies de l'amas considéré. En revanche, il y a peu d'évidence d'une masse importante entre les amas, sous la forme de nuages intergalactiques.

International Dark-sky Association (IDA). Association sans but lucratif fondée en 1988 parles astronomes amateurs américains David Crawford et Tim Hunter pour combattre la pollution lumineuse du ciel nocturne afin de préserver les observations astronomiques.

ADRESSE : 3225 N. First Avenue, Tucson, AZ 85719, USA
E-mail : *ida@darksky.org*

International Space University (ISU). Association à but non lucratif, fondée en 1987, spécialisée dans l'enseignement de troisième cycle de programmes d'études spatiales pluriculturels et pluridisciplinaires.

ENCYCL. Son siège est à Cambridge (États-Unis). Elle organise des sessions d'été, qui ont lieu chaque année dans une ville différente. Son campus permanent est installé à Strasbourg, sur le complexe universitaire et scientifique d'Illkirch.

International Space Year (ISY). Nom donné à l'année 1992, dans le cadre d'une initiative soutenue par l'Assemblée générale des Nations unies et par plus de 30 pays et organisations internationales.

ENCYCL. Cette initiative a été prise en vue de marquer à l'échelle mondiale l'utilité des

technologies spatiales pour la surveillance et la protection de l'environnement terrestre ainsi que la nécessité d'accroître la coopération internationale dans ce domaine.

interplanétaire adj. Qui est situé ou s'effectue entre les planètes du système solaire.

intersidéral, e adj. Qui est situé entre les astres.

interstellaire adj. Se dit de ce qui se situe ou se produit entre les étoiles. *Matière interstellaire :* ensemble des matériaux extrêmement diffus (gaz et poussières) répartis en nuages plus ou moins denses entre les étoiles d'une galaxie.

GAZ INTERSTELLAIRE. Le gaz interstellaire neutre diffus se manifeste par des raies d'absorption dans le spectre des étoiles, observées dans le visible depuis le début du siècle, et plus récemment dans l'ultraviolet grâce aux satellites.

On a pu ainsi préciser la composition des nuages de gaz interstellaire : outre de l'hydrogène, qui en est le principal constituant (90 %), ils contiennent des atomes neutres (calcium, potassium, sodium), des ions (calcium, fer, titane) et quelques molécules (CN, CH^+, CH, H_2, CO, OH, C_2).

L'hydrogène se manifeste par l'émission de la raie à 21 cm de longueur d'onde détectée pour la première fois en 1951. Ce gaz interstellaire neutre diffus est très dilué (un atome par cm^3 environ, soit une masse volumique de l'ordre de 10 [illegible] g-cm^{-3}) et très froid (de quelques kelvins à 100 K).

Plus récemment, depuis la découverte, en 1963, des raies d'émission de la molécule OH à 18 cm de longueur d'onde, de très nombreuses molécules ont été détectées dans le milieu interstellaire neutre et froid.

En 1996, on en connaît une centaine, dont certaines très complexes (jusqu'à 13 atomes). Toutes ces molécules sont construites à partir des éléments fondamentaux : hydrogène, oxygène, carbone, azote. Elles se trouvent dans des nuages particulièrement denses appelés *nuages moléculaires.* La concentration de matière y dépasse plusieurs centaines de molécules par cm^{-3}, et leur masse est de l'ordre de 10 000 fois la masse du Soleil. C'est au sein de ces régions que se forment les étoiles.

Le gaz interstellaire situé à proximité des étoiles chaudes est ionisé et se manifeste sous forme de nébuleuses* brillantes, ou *régions H II,* à des températures de quelques milliers de degrés. Des observations récentes ont mis en évidence une autre composante du milieu interstellaire, répartie entre les nuages et appelée *milieu interstellaire internuage.* Il s'agit d'un gaz chaud (température de l'ordre de 1 000 K), mais encore neutre. L'existence et l'interprétation de ce milieu constituent encore des sujets de discussion.

POUSSIÈRE INTERSTELLAIRE. La poussière interstellaire est caractérisée par une température relativement faible. Elle se manifeste par trois phénomènes observationnels : l'absorption et le rougissement de la lumière des étoiles et des galaxies ayant traversé la zone de poussière, la diffusion de la lumière par les grains de poussière et, enfin, la polarisation de la lumière.

L'absorption par les poussières varie fortement avec la longueur d'onde ; elle est plus importante dans l'ultraviolet que dans l'infrarouge, ce qui explique le rougissement des objets que l'on observe à travers une zone de poussière.

Les recherches sur la nature des grains de poussière se poursuivent, aucun modèle ne réussissant à expliquer tous les faits d'observation ; l'hypothèse la plus courante consiste à les considérer comme un mélange de glace et de graphite ou de silicates. Il est important de comprendre la physique des poussières interstellaires, car celles-ci interviennent dans la formation de molécules ; elles sont, de plus, associées à la phase de condensation des protoétoiles dans le milieu interstellaire.

Intespace (abréviation de Ingénierie Tests en Environnement Spatial). Société qui, depuis 1983, gère et exploite le Centre d'essais spatiaux situé à Toulouse, au sein du Centre spatial de Toulouse du CNES. Elle emploie 145 personnes, en majorité des ingénieurs et des techniciens.

ENCYCL. Son capital, de 8,8 millions de francs, est réparti entre cinq actionnaires : le CNES et la Sopeméa (35 % chacun), Alcatel Space Industries (13 %), Matra Marconi Space et

le personnel Intespace (9 % chacun). (Mise à jour : 31 déc. 1998.)
Son activité principale consiste à tester les véhicules spatiaux pour vérifier leur aptitude à supporter les contraintes sévères du lancement et du séjour dans l'espace : accélérations, bruits et vibrations générés par le lanceur, exposition au vide, au rayonnement solaire et aux écarts de température pendant la vie orbitale.
Pour l'accomplir, Intespace dispose - sur **20** 000 m² - d'un ensemble de moyens permettant de réaliser des essais mécaniques, thermiques, climatiques et électromagnétiques ; des laboratoires de métrologie et des outils informatiques performants.
Les principaux moyens d'accueil et d'essais sont :
- quatre halls d'accueil et d'intégration de satellite contigus aux moyens d'essais ;
- des excitateurs électrodynamiques de vibrations ayant une force de 150 à 300 kN ;
- un caisson de simulation spatiale de 600 m³ équipé d'un soleil de 4 m de diamètre et d'un simulateur d'attitude d'une capacité de 2 500 kg ;
- un caisson de vide thermique de 10 m de diamètre et 8 m de long équipé d'un dispositif de simulation de charges thermiques par trois puits thermiques indépendants permettant de simuler les contraintes orbitales en fin de vie des satellites ;
- une chambre acoustique réverbérante de 1100 m³, simulant un niveau maximal de 156 dB ;
- une chambre d'essais de compatibilité électromagnétique de 1 600 m³ ;
- une base compacte de mesure d'antennes dans la gamme 1,4 GHz à 40 GHz extensible à 100 GHz et offrant une zone tranquille de 10 m de large ;
- des moyens de mesures physiques allant jusqu'à des masses de 2 500 kg.
Intespace offre de plus son assistance technique dans le domaine des études liées à l'environnement, assure l'ingénierie de centres d'essais à l'étranger et a développé un progiciel de traitement de données très performant « DynaWorks » largement commercialisé hors du secteur spatial.
Par l'importance de ses installations, Intespace constitue un tout unique en France et l'un des premiers en Europe, largement utilisé par le CNES, l'Agence spatiale européenne et beaucoup d'industriels européens. Intespace a testé la plupart des satellites fabriqués en Europe (Télécom, TDF, Hipparcos, Giotto, Eutelsat 2, SPOT, Météosat, Inmarsat 2, Italsat, HotBird, Astra, Intelsat,...) ainsi que des éléments de lanceur ou de structure orbitale (coiffes et moteurs HM7 d'Ariane, cases à équipements, ...).
Ses moyens d'essais servent également à d'autres secteurs industriels (automobile, armement, aéronautique).
Depuis quelques années, Intespace exploite, en partenariat avec des industriels allemands et danois, les moyens d'essais spatiaux de l'Agence spatiale européenne à Noordwijk (Pays-Bas).

Io. Satellite de Jupiter (n° I) découvert par Galilée, le 7 janvier 1610.
ENCYCL. Diamètre : 3 642 km. Densité moyenne : 3,53. Demi-grand axe de son orbite : 422 000 km. Période de révolution sidérale : 1,769 j. Des images particulièrement saisissantes en ont été recueillies par Voyager 1, qui s'en est approché à 18 170 km seulement le 5 mars 1979. Sa surface apparaît dominée par la présence de formations volcaniques, entre lesquelles s'étendent de vastes plaines. Une centaine de cheminées volcaniques de plus de 25 km de diamètre y ont été repérées. Des coulées de lave, riches en soufre, lui donnent une coloration vive rouge-orangé. On y observe aussi des dépôts blanchâtres d'anhydride sulfureux.

La découverte la plus spectaculaire a toutefois été celle de volcans en éruption, d'où s'échappent des panaches de gaz (notamment anhydride sulfureux), à des altitudes atteignant jusqu'à 280 km. Les observations effectuées par la sonde Ulysse* en 1992 et par la sonde Galileo* depuis 1996 ont permis d'étudier l'évolution des volcans actifs depuis le survol de Io par les sondes Voyager. L'activité volcanique assure un remodelage continuel de la surface, comme en témoigne l'absence de cratères d'impact, indice d'une extrême jeunesse (un million d'années tout au plus). Elle implique la présence, en profondeur, de matériaux en fusion.

On considère que cet échauffement interne serait entretenu par des phénomènes de marée résultant de l'attraction combinée d'Europe, de Ganymède et de Jupiter. Près de l'orbite du satellite ont été détectés un tore de plasma riche en soufre et en hydrogène ionisés, provenant vraisemblablement des éjections volcaniques, et un anneau de sodium neutre, constitué, pense-t-on, d'atomes arrachés au sol par les particules chargées qui le bombardent en permanence, Io évoluant à l'intérieur des ceintures de rayonnement de Jupiter. Cet astre aurait une structure interne différenciée où prédominent les silicates.

ionisation n.f. Processus au terme duquel un atome ou une molécule neutre devient porteur d'une charge électrique positive ou négative.
ENCYCL. On appelle *ion* un atome ou une molécule qui a perdu sa neutralité électrique, soit en gagnant des électrons (ion négatif), soit en en perdant (ion positif). Un atome neutre peut perdre un ou plusieurs électrons et se transformer en ion positif soit en absorbant des photons d'énergie suffisante, soit lors d'une collision avec une particule élémentaire ou avec un autre atome. L'ionisation résulte, par exemple, d'une élévation de température, celle-ci ayant pour effet d'accroître l'agitation des atomes (et des molécules), dont le nombre de leurs chocs mutuels.

ionosphère n.f. Zone de la haute atmosphère d'une planète, en particulier de la Terre, caractérisée par la présence de particules chargées (électrons et ions), formées par photo-ionisation sous l'effet du rayonnement solaire.
ENCYCL. La mise en évidence de l'ionosphère terrestre remonte à 1901. On la partage traditionnellement en trois régions qui diffèrent par la concentration et la nature des ions qu'elles renferment : D entre 60 et 85-90 km d'altitude (10^2 à 10^4 ions/cm^3, ions polyatomiques hydratés), E entre 90 et 120-140 km ($10^à$ à W ions/cm^3, ions NO^+, $0_2{}^+$ et ions métalliques) et F entre 140 et 600 km (10^5 à 10® ions/cm^3, ions N_2+, NO^+, 0^+, H^+). L'ionosphère terrestre constitue un ensemble de couches conductrices sur lesquelles se réfléchissent les ondes hertziennes. Grâce aux sondes spatiales on a pu détecter la présence d'une ionosphère autour d'autres planètes que la Terre : Vénus, Jupiter, Saturne, etc.

ionosphérique adj. Relatif à l'ionosphère. *Couche ionosphérique :* partie d'une région de l'ionosphère dans laquelle, en fonction de l'altitude, l'ionisatipn présente un maximum ou un palier.

IRAM. Sigle de Institut de Radio-Astronomie Millimétrique.

IRAS (sigle de *Infra Red Astronomical Satellite,* satellite astronomique infrarouge). Satellite d'astronomie infrarouge, fruit d'une coopération entre la NASA (qui a conçu et construit le télescope), l'Agence spatiale des Pays-Bas (responsable du satellite) et le Conseil de la Recherche scientifique du Royaume-Uni (chargé de la réception des données), qui a fonctionné du 25 janvier au 23 novembre 1983.
ENCYCL. Sa charge utile, d'une masse de 500 kg environ, consistait essentiellement en un télescope infrarouge de 60 cm d'ouverture, équipé, au plan focal, de 62 détecteurs infrarouges fonctionnant dans quatre bandes spectrales, entre 8,5 et 119 pm de longueur d'onde. Le refroidissement du télescope et des détecteurs à une température aussi basse que possible étant indispensable pour diminuer au maximum l'émission de rayonnement parasite propre à l'instrumentation, l'ensemble était placé dans un cryostat contenant de l'hélium liquide superfluide à une température de - 271 °C. La mission principale d'ÏRAS consistait à dresser un inventaire complet des sources infrarouges de l'Univers. C'est la première fois qu'une étude systématique du ciel dans l'infrarouge lointain (pour des longueurs d'onde supérieures à 12 pm) était réalisée. Au total, quelque 250 000 sources célestes de rayonnement infrarouge ont été détectées et localisées, dont 99 % étaient inconnues auparavant.
Dans le système solaire, IRAS a découvert 6 comètes, observé 1 181 astéroïdes, repérant notamment Phaéton, qui s'approche à 20,7 millions de km du Soleil, et identifié de

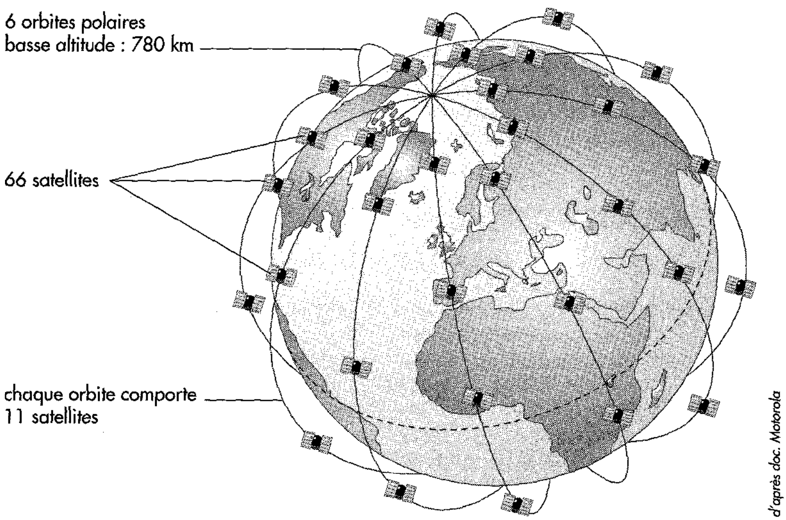
fins anneaux de poussière dans la ceinture d'astéroïdes, entre les orbites de Mars et de Japiter. Dans la Galaxie, le satellite a détecté de longs filaments de poussière, insoupçonnés auparavant, qui parsèment l'espace inteistellaire et auxquels on a donné le nom de « tiirus infrarouges ». Les plus étranges d'entre eux se trouvent vers le centre ae la Galaxie et sont étirés radialement dans sa direction, comme s'ils en avaient été éjectés. IRAS a détecté aussi des étoiles en formation, trop jeunes encore pour émettre de la lumière visible (leur âge est vraisemblablement inférieur à 1 million d'années), mais qui deviendront plus tard des astres comparables au Soleil, et dont l'étude s'avère donc extrêmement précieuse pour comprendre la genèse de celui-ci. Enfin, il faut noter la découverte, autour des étoiles brillantes Véga et Fomalhaut, d'un disque de particules solides qui pourrait être un système planétaire en formation, et, autour de Bételgeuse, celle de trois enveloppes asymétriques de poussière résultant probablement d'éjections successives de matière par cette vieille étoile.

La découverte la plus fascinante reste toutefois celle de puissantes sources infrarouges identifiées à des galaxies lointaines dont le rayonnement provient de poussières chauffées par des « flambées » d'étoiles.

IRAS Araki-Alcock (comète). Comète repérée dans l'infrarouge le 25 avril 1983 par le satellite IRAS, puis découverte indépendamment le 3 mai suivant par le Japonais Genichi Araki et les Britanniques George Alcock et John Davies.
ENCYCL. Elle resta visible à l'œil nu du 7 au 14 mai 1983. Le 11 mai, elle passa à 4,65 millions de kilomètres de la Terre. Depuis la comète de Lexell*, en 1770, aucune comète ne s'était approchée autant de notre planète. Le radiotélescope d'Arecibo, utilisé en radar, permit de détecter son noyau et d'en percevoir l'hétérogénéité.

Iridium (du nom de l'élément chimique portant le n° 77 dans le tableau de Mendeleïev). Premier réseau mondial de téléphonie mobile par satellites, développé à l'initiative de la société américaine Motorola.
ENCYCL. Annoncé en 1990, ce projet a regroupé une vingtaine d'investisseurs des Etats-Unis, du Canada, de la Chine, de l'Europe, du Japon, de la Russie, de la Thaïlande, du Venezuela et de l'Arabie Saoudite. Mis en service le 1er novembre 1998, ce système

Système de télécommunications **Iridium**



mondial de télécommunications par téléphone sans fil exploite une constellation de 66 satellites (77 dans le projet initial), de 690 kg chacun au lancement, répartis sur 6 orbites circulaires polaires basses, à 780 km d'altitude, complétés par 6 satellites en réserve à 648 km. Pour la mise en orbite, Motorola a fait appel à des fusées américaines (Delta 2), russes (Proton), et chinoises (Longue Marche).
Les satellites Iridium suscitent l'inquiétude des radioastronomes en raison des perturbations que leurs émissions sont susceptibles d'induire dans la bande de fréquences comprise entre 1 610,6 et 1613,8 MHz réservée aux observations astronomiques et qui abrite notamment l'émission à 1 612 MHz du radical hydroxyle OH, qui joue un grand rôle dans les nuages interstellaires. Par ailleurs, en début ou en fin de nuit, ces satellites, situés à une altitude relativement faible, peuvent perturber les observations astronomiques en réfléchissant la lumière du Soleil et en se manifestant soudainement par un éclair lumineux quelque 100 fois plus brillant que Vénus.

1RS (sigle de *Indian Remote sensing Satellite,* satellite indien de télédétection). Programme spatial de l'Inde pour la télédétection des ressources terrestres au moyen de satellites héliosynchrones.
ENCYCL. Les deux premiers satellites ont été mis sur orbite en mars 1988 et en août 1991 par l'ex-URSS. Puis l'Inde a entrepris de lancer elle-même d'autres exemplaires dès 1994 (à l'exception d'un lancement russe en 1995). Plusieurs lancements sont prévus jusqu'en 2002.

Isaac Newton (télescope) -> Newton (télescope Isaac)

ISAS (sigle de *Institut of Space andAstronautical Science).* Institut japonais des sciences spatiales et astronautiques créé, sous sa forme actuelle, en 1981 et chargé de la recherche et du développement des satellites scientifiques et de leurs lanceurs.
ENCYCL. Il constitue, avec la NASD A, le noyau de la recherche spatiale du Japon. Il exploite la base de Kagoshima.

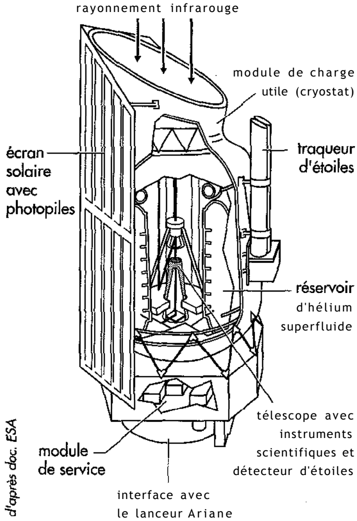
ISEE (sigle de *International Sun-Earth Explorer,* explorateur international Soleil-Terre). Satellites destinés à l'étude de la magnétosphère terrestre et des relations Soleil-Terre, qui ont été réalisés et lancés dans le cadre d'un programme de coopération entre l'Agence spatiale européenne (ESA) et la NASA.
ENCYCL. Trois satellites pesant 160 kg en orbite ont été construits : ISEE 1 et 3 par la NASA, ISEE 2 par l'ESA. ISEE 1 et 2 ont été lancés en tandem en 1977 par une fusée américaine Thor-Delta. Placés sur une orbite très allongée dont le périgée se trouvait à 280 km et l'apogée à 140 000 km d'altitude environ, ils opéraient en conjonction, circulant à travers la magnétosphère avec un écartement connu et variable. Leurs charges utiles étaient soigneusement appariées. En comparant les observations faites à partir des deux plates-formes, on pouvait calculer la vitesse et la direction des phénomènes et distinguer les variations spatiales des variations temporelles, ce qui a permis pour la première fois une étude approfondie de la dynamique de la magnétosphère.
Le troisième satellite, ISEE 3, a été lancé en 1978, également par une fusée américaine Delta, et mis en orbite entre le Soleil et la Terre au point de libration le plus proche du Soleil, à 1,5 million de kilomètres du Soleil (point de Lagrange* Lj).
Décrivant une orbite en halo autour de ce point, il permettait d'étudier les caractéristiques du vent solaire avant son arrivée au voisinage de la Terre. Il était également porteur d'instruments d'étude des particules de haute énergie.

Le fonctionnement simultané des trois satellites ISEE a permis d'étudier les causes et les effets des processus magnétosphériques de façon plus détaillée que jamais auparavant. Le programme s'est achevé en 1981.

Ishtar Terra. L'une des grandes régions montagneuses de la planète Vénus. Ses dimensions sont comparables à celles de l'Australie ; elle renferme la plus haute chaîne vénusienne, celle des monts Maxwell.

ISO (sigle de *Infrared Space Observatory,* observatoire spatial infrarouge). Satellite européen d'astronomie infrarouge.

Satellite astronomique européen ISO



ENCYCL. Il a été lancé le 17 novembre 1995. Sa charge utile de 1 600 kg (pour une masse totale de 2 400 kg) comportait un télescope de 60 cm de diamètre, refroidi par un cryostat de 2 140 litres d'hélium superfluide pour maintenir les détecteurs à une température de - 271 °C, et quatre instruments focaux : un ensemble caméra + polarimètre opérant de 2,5 à 5,5 pm de longueur d'onde, avec un champ de prise de vues de 3' ; un photomètre sensible entre 2,5 et 250 pm ; et deux spectromètres, l'un pour les courtes longueurs d'onde (2,5-45 pm), l'autre pour les grandes longueurs d'onde (45-180 pm). Son orbite elliptique de 24 h de période (périgée : 1 000 km ; apogée : 70 000 km) avait été choisie pour lui permettre de se trouver 16 h par jour à l'extérieur de ceintures de rayonnement terrestres, de telle sorte que ses instruments puissent alors fonctionner à leur maximum de sensibilité.
Il devait poursuivre les études entreprises en 1983 par le satellite IRAS*, mais avec une sensibilité 1 000 fois supérieure et une résolution bien meilleure. Alors que sa mission était prévue pour 18 mois, il a fonctionné plus de 28 mois, jusqu'à l'épuisement de ses réserves d'hélium, le 8 avril 1998, observant plus de 26 000 objets célestes différents. On lui doit notamment la découverte d'une nouvelle population de galaxies, contribuant par leur rayonnement à la lueur diffuse émise par le fond de l'Univers, l'identification de plusieurs centaines d'étoiles très jeunes et la mise en évidence de vapeur d'eau dans les atmosphères de Saturne, d'Uranus et de Neptune.

isophote n.f. Courbe reliant les points d'égale intensité lumineuse sur une carte montrant la répartition spatiale de l'intensité de rayonnement d'une source lumineuse.

isotope n.m. Chacun des différents types possibles de noyaux atomiques d'un même élément.
ENCYCL. Les isotopes ont le même numéro atomique, c'est-à-dire le même nombre de protons, donc sont les noyaux d'atomes ayant le même cortège électronique, et, par conséquent, ils ont des propriétés chimiques identiques. En revanche, ils diffèrent par leur masse, c'est-à-dire par leur nombre de neutrons. Exemples : le carbone 12, le carbone 13 et le carbone 14.

isotrope adj. Dont les propriétés sont indépendantes de la direction (en parlant d'un milieu, d'un rayonnement, etc.).

isotropie n.f. Caractère d'un corps, d'un milieu ou d'un rayonnement qui présente des propriétés identiques dans toutes les directions.

ISRO (sigle de *Indian Space Research Organization).* Agence spatiale de l'Inde, créée en 1969.

ISU —» International Space University

ISY International Space Year

Italsat. Premiers satellites italiens lancés en 1991 et 1996 pour les télécommunications opérationnelles depuis l'orbite géostationnaire.

IUE (sigle de l'angl. *International Ultraviolet Explorer,* Explorateur ultraviolet international). Satellite d'astronomie dans l'ultraviolet, fruit d'une collaboration entre l'Agence

spatiale européenne, le Royaume-Uni et la NASA.

ENCYCL. Lancé le 26 janvier 1978 par une fusée américaine et placé sur une orbite géosynchrone, d'environ 46 000 km d'apogée et 25 700 km de périgée, inclinée de 28,7° sur l'équateur, il était équipé d'un télescope de 45 cm de diamètre et de spectrographes à haute résolution opérant à des longueurs d'onde comprises entre 115 et 320 nm, et pouvait être commandé en temps réel comme un instrument implanté au sol. Ses émissions étaient reçues par deux stations, l'une au Goddard Space Flight Center de la NASA, aux États-Unis, dans le Maryland, l'autre à Villafranca del Castillo, en Espagne. Grâce à cet engin d'une exceptionnelle longévité, qui a fonctionné jusqu'au 26 septembre 1996, des données nouvelles ont été recueillies sur les vents stellaires, sur différents types d'étoiles particulières telles que les binaires émettrices de rayons X, ainsi que sur les quasars et certaines galaxies actives ; un halo de gaz chaud a été découvert autour de notre galaxie ; enfin, des phénomènes exceptionnels, comme l'explosion de supernovae ou le passage de comètes auprès du Soleil, ont pu être suivis immédiatement après leur découverte au sol. Au total, plus de 100 000 spectres ultraviolets d'objets célestes les plus divers ont été obtenus et les observations du satellite ont donné lieu à plus de 3 600 articles scientifiques, publiés par plus de 3 000 astronomes issus de 25 pays différents.

IUS (sigle de *Inertial Upper Stage,* étage supérieur inertiel). Propulseur à deux étages à poudre construit aux États-Unis pour le programme de la navette.

ENCYCL. De forme cylindrique, il pèse 13 t. Il sert à transférer les engins libérés en orbite basse par l'orbiteur de la navette soit vers l'orbite géostationnaire (il est successivement moteur de périgée et moteur d'apogée), soit vers des trajectoires interplanétaires (comme pour les sondes Magellan, Galileo et Ulysse). Il sert aussi d'étage supérieur sur certaines versions du lanceur Titan.

J

J 1. Lanceur spatial japonais, développé par la NASDA*.
ENCYCL. C'est une fusée à trois étages à poudre pesant 90 t au décollage. Son premier vol, le 12 février 1996, a permis le lancement du modèle réduit Hyflex de la navette Hope*.

Jansky (Karl Guthe), ingénieur américain (Norman, Oklahoma, 1905 - Red Bank, New Jersey, 1950).
En recherchant pour le compte des Bell Téléphoné Laboratories les causes des parasites perturbant les radiocommunications transatlantiques sur ondes courtes, il découvrit l'émission radioélectrique du centre de la Galaxie (1931), ouvrant ainsi l'ère de la radioastronomie.

Janssen (Jules), astronome français (Paris 1824 - Meudon 1907).
Sa carrière scientifique débuta par des travaux d'optique. En 1862, il installa sur le toit de sa maison, à Montmartre, un petit observatoire personnel et commença des recherches de spectroscopie solaire. Il put ainsi établir l'origine terrestre de certaines raies du spectre solaire, qu'il proposa d'appeler, pour cette raison, *raies telluriques,*
Tout en poursuivant l'étude de ces raies, il entreprit ensuite l'étude spectroscopique des atmosphères planétaires et découvrit, en 1867, la présence de vapeur d'eau dans l'atmosphère de Mars. En 1868, il se rendit en Inde pour y observer une éclipse totale de Soleil : il découvrit à cette occasion, en même temps que Lockyer, la présence dans l'atmosphère solaire d'un élément chimique alors inconnu sur la Terre, l'hélium, grâce à l'analyse spectrale des protubérances. En 1874, il se rendit au Japon pour observer le passage de Vénus devant le Soleil à l'aide d'une nouvelle technique, la ch.ronoph.otographie, qui préfigurait déjà la cinématographie. En 1874 fut décidée la création, près de Paris, d'un observatoire d'astrophysique et Janssen eut à choisir entre deux sites : la Malmaison ou l'ancien château de Meudon. Il choisit Meudon et commença, en 1876, à aménager ce nouvel observatoire, qu'il dirigea jusqu'à sa mort : il y installa notamment une grande lunette dotée d'un objectif visuel de 83 cm de diamètre et d'un objectif photographique de 62 cm, ainsi qu'un télescope de 1 m, et fit du nouvel établissement un centre important de recherches en astrophysique solaire et planétaire. De 1887 à 1897, il effectua plusieurs expéditions au sommet du mont Blanc pour bénéficier de la transparence du ciel à haute altitude. Il y aménagea même un observatoire qui nécessita le transport de 15 t de matériel à dos d'homme, mais qui fut englouti sous la neige au bout de quelques années. Il fut enfin un pionnier de l'observation astronomique et météorologique en ballon.

Janus. Satellite de Saturne (n° X), découvert en 1966 par le Français A. Dollfus*.
ENCYCL. Demi-grand axe de son orbite : 151 500 km. Période de révolution sidérale : 0,694 j. Diamètre : 198 x 152 km. Il décrit pratiquement la même orbite que le satellite Epiméthée* (satellites coorbitaux) et contrôle, par un effet de résonance gravitationnelle, la limite extérieure de l'anneau A de Saturne.

Japet. Satellite (n° VIII) de la planète Saturne*, découvert en 1671 par Jean Dominique Cassini. Nom international : *Iapetus.*
ENCYCL. Période de révolution sidérale : 79,331 j. Demi-grand axe de son orbite : 3 561 300 km (59 fois le rayon de Saturne). Diamètre : 1 440 km. Densité : 1,0. Ce satellite, qui tourne toujours la même face vers Saturne, présente une étonnante particularité, remarquée dès le xvif s. par J. D. Cassini* et encore inexpliquée : son hémisphère arrière (celui qui se trouve en arrière par rapport à la direction du mouvement orbital) est très brillant, avec un pouvoir réfléchissant de l'ordre de 50 %, tandis que son hémisphère avant est extrêmement sombre, avec un pouvoir réfléchissant de 3 à 5 % seulement. La frontière bien marquée et complexe entre régions claires et régions sombres de l'astre et la présence, sur l'hémisphère arrière, d'un certain nombre de cratères au fond obscur suggèrent que la matière sombre provient de l'intérieur même de Japet.

Jason. Programme d'océanographie spatiale décidé le 20 décembre 1996, par le CNES et la NASA, afin d'assurer la continuité de la mission Topex-Poséidon, à moindre coût et avec le même niveau de performances.
ENCYCL. Utilisant la première plate-forme de la filière Protéus*, le satellite Jason 1, pesant moins de 500 kg (contre 2,5 t pour Topex-Poséidon), sera lancé en mai 2000. Ses données seront distribuées quelques heures après leur collecte.

JC-Sat (acronyme de *Japan Communications SATellite,* satellite de communications japonais). Premier système privé japonais de communications par satellite.
ENCYCL. Il utilise des satellites géostationnaires de 1 378 kg, dotés de 32 répéteurs (+ 8 de secours) d'une puissance de 20 W, fonctionnant en bande Ku. Deux satellites ont été lancés, par des fusées Ariane 4, le 1er en mars 1989 (mis à poste par 150° E.), le 2e en janvier 1990 (mis à poste par 154° E.).

Jeans (sir James Hopwood), astronome, mathématicien et physicien anglais (Londres 1877 - Dorking, Surrey, 1946).
Il consacra ses premiers travaux à la physique moléculaire puis se spécialisa dans l'astrophysique théorique. S'intéressant plus particulièrement à la formation des astres et de l'Univers, il réfuta l'hypothèse cosmogonique de Laplace et proposa une théorie (abandonnée aujourd'hui) selon laquelle les planètes du système solaire seraient issues du Soleil lui-même, dont elles se seraient détachées par effet de marée lors du passage d'une autre étoile à proximité.
De 1928 à sa mort, il se consacra à la vulgarisation de l'astronomie et de la physique.

JEM (sigle de *Japanese Experiment Module,* module japonais d'expérimentation). Laboratoire spatial japonais destiné à s'amarrer, en 2002, à la Station spatiale internationale.
ENCYCL. Il comprendra quatre éléments principaux, unis les uns aux autres : un module pressurisé, de forme cylindrique, servant de laboratoire ; une plate-forme exposée au vide, pour diverses expériences manipulables au moyen d'un bras articulé ; un module de logistique, en partie pressurisé, pour le stockage d'échantillons et de produits divers et leur transport entre le sol et la station.

jet coronal. Structure élémentaire mince, brillante, approximativement radiale, de la couronne solaire.
ENCYCL. Les jets coronaux déterminent la morphologie générale de la couronne observée au cours des éclipses ou à l'aide de coronographes. Ils sont généralement implantés au-dessus des structures actives de la basse atmosphère solaire, et leur disposition autour du disque varie au cours du cycle d'activité solaire. Aux époques voisines du minimum d'activité, ils sont localisés autour de l'équateur solaire, alors qu'en période de maximum d'activité ils se trouvent répartis autour du disque solaire jusque près des pôles. On appelle « plumes polaires » les jets fins radiaux et très ténus qui apparaissent alors aux pôles.

jet n.m. Structure filiforme qui émerge du noyau de certaines galaxies actives ou de certains quasars.
ENCYCL. Les jets sont observés dans le domaine visible (jets optiques) ou dans le do-

maine des ondes radio (jets radio). Ce sont des faisceaux de particules rapides électriquement chargées, qui se déplacent dans un champ magnétique et, par suite, émettent un rayonnement synchrotron.

Jet Propulsion Laboratory. Établissement scientifique des États-Unis, situé à Pasadena (Californie), dont le fonctionnement est assuré par l'Institut de technologie de Californie (Caltech) pour le compte de la NASA et d'autres organismes américains.
ENCYCL. C'est le principal établissement chargé, aux États-Unis, de la mise au point, de la commande, du contrôle et de la réception des données des sondes spatiales automatiques. Environ 6 000 personnes y travaillent. Le *Deep Space Network* (DSN), réseau de stations de poursuite et de communications utilisé pour maintenir le contact avec les engins spatiaux américains, est placé sous son autorité.

Jiuquan. Base de lancement chinoise, en Chine du Nord, dans la province du Gansu, à l'orée du désert de Gobi, à quelque 150 km au nord de la ville du même nom.
ENCYCL. Construite dans les années 60, elle a servi à l'expérimentation des premiers missiles chinois et, à partir de 1970, au lancement des premiers satellites chinois. Elle renferme des ensembles de lancement de fusées Longue Marche 1 et Longue Marche 2 et est utilisée régulièrement pour le lancement de satellites d'observation munis de capsules récupérables ou de satellites scientifiques ou technologiques en orbite basse. En raison de la proximité de la Mongolie, au nord, les lancements s'effectuent en direction du sud-est.

JNLT. Sigle de l'angl. *Japanese National Large Telescope* —» **Subaru**

jour n.m. 1. Période de rotation sur elle-même de la Terre, ou d'une autre planète du système solaire, rapportée à certains repères astronomiques (étoiles lointaines, Soleil, etc.). **2.** Unité de temps (symb. d ou j) valant 86 400 secondes. **3.** Intervalle de temps compris entre le lever et le coucher du Soleil en un lieu donné de la Terre, ou d'une autre planète du système solaire.
ENCYCL. La Terre tourne sur elle-même en 23 h 56 min 4 s environ par rapport aux étoiles lointaines (jour sidéral). Comme elle se déplace aussi autour du Soleil, il lui faut tourner un peu plus sur elle-même pour que le Soleil se retrouve dans une même direction : cette nouvelle période constitue le jour solaire, de durée variable selon l'époque de l'année, mais en moyenne plus long d'environ 4 min que le jour sidéral. Le jour civil est un jour solaire moyen dont la durée est de 24 h exactement, avec origine à minuit. **—• temps**

jovien, enne adj. De Jupiter.

JPL. Sigle de *Jet* Propulsion Laboratory.*

julien, enne adj. (du latin *Julius,* Jules). *Année julienne :* année commune de 365,25 jours. *Calendrier julien :* calendrier issu de la réforme de Jules César en 46 av. J.-C. (valeur moyenne de l'année dans le calendrier* julien) [-* **calendrier].** *Correction julienne :* correction qui introduisit l'année bissextile. *Ère* ou *période julienne :* période de 7 980 années juliennes, comptée à partir du 1er janvier 4713 av. J.-C., pour la chronologie astronomique. *Siècle julien :* siècle de 36 525 jours.
ENCYCL. Les problèmes de *chronologie* à longue période sont rendus beaucoup plus difficiles par la non-uniformité d'introduction des années bissextiles dans le calendrier grégorien, ainsi que par les deux discontinuités introduites lors des deux réformes julienne et grégorienne. Aussi, dans toutes les formules d'astronomie dans lesquelles le temps intervient sous forme d'une variable *t,* cette variable est uniformément exprimée en siècles juliens de 36 525 jours. Pour utiliser de telles formules et pour résoudre tous les problèmes de chronologie ancienne, on a créé une ère, fictive (ère julienne), remontant très loin dans le passé, et dans laquelle les jours sont numérotés dans un système unique à partir d'une origine fixée par convention. La période adoptée est celle imaginée au XVIe s. par J.J. Scaliger, qui embrasse une période de 7 980 années juliennes allant du début de l'année - 4 712 jusqu'à la fin de l'année 3267. Par convention, l'année qui précède l'an 1 de l'ère chrétienne est numérotée 0,

elle-même précédée de l'année - 1. L'intérêt du nombre 7 980 est qu'il est le produit des nombres 28, 19 et 15. Ceux-ci correspondent à trois périodes (cycle dominical, cycle de Méton et indiction romaine), qui interviennent plus ou moins directement dans le comput ecclésiastique. En divisant le rang d'une année donnée par 28, par 19 et par 15, les restes obtenus font connaître les trois éléments indiqués : cycle dominical, cycle de Méton et indiction romaine.

Juliet. Satellite d'Uranus n° XI, découvert en 1986 par la sonde américaine Voyager 2. Demi-grand axe de son orbite : 64 360 km. Période de révolution sidérale : 11 h 50 min. Diamètre : ~ 84 km.

jumelles n.f.pl. Instrument d'optique formé de deux lunettes identiques associées de façon à permettre la vision binoculaire.
ENCYCL. Les jumelles constituent un instrument privilégié pour contempler les éclipses de Lune, la lumière cendrée, les comètes, les amas stellaires et les nébuleuses les plus remarquables, etc. Sur le corps d'une paire de jumelles, on trouve généralement gravés deux nombres séparés par le signe x. Par exemple : 7 x 50. Le premier nombre indique le grossissement, en nombre de fois (7 dans l'exemple choisi), le second le diamètre des objectifs en millimètres (50).
Pour l'observation du ciel avec des jumelles, les grossissements forts sont déconseillés. Le principal intérêt des jumelles en astronomie n'est pas en effet de grossir les astres, mais de permettre de « mieux voir » des objets faiblement lumineux et présentant une certaine étendue comme les nébuleuses, ou des phénomènes tels que ceux déjà cités.

Junon. Astéroïde 3, découvert par Cari Ludwig Harding (1765-1834) à l'observatoire de Lilienthal, près de Brème, le 1er septembre 1804. Demi-grand axe de son orbite : 399 millions de km. Période de révolution sidérale : 1 593 j. Diamètre estimé : 250 km.

Jupiter. La plus grosse et la plus massive des planètes du système solaire.
ENCYCL. Elle a été survolée et étudiée à faible distance par les sondes américaines Pioneer 10 (1973), Pioneer 11 (1974), Voyager 1 et Voyager 2 (1979). Sa masse représente près de 2,5 fois la somme de celles de toutes les autres planètes réunies, ce qui lui vaut de jouer un rôle important en mécanique céleste, en raison des perturbations qu'elle exerce sur les orbites des autres astres du système solaire.
ATMOSPHÈRE. Sa surface visible, fluide, est une épaisse atmosphère constituée de 82 % d'hydrogène, de 17 % d'hélium et de 1 % de composés divers (méthane, ammoniac, etc.). On y voit des bandes, alternativement sombres et brillantes, distribuées parallèlement à l'équateur, qui correspondent en fait à des formations nuageuses d'altitudes différentes (l'altitude des zones brillantes est supérieure d'environ 20 km à celle des bandes sombres), étirées longitudinalement par la rotation rapide de Jupiter jusqu'à former de véritables ceintures autour de la planète. Au sein de ces bandes, on observe de nombreuses taches plus ou moins rapidement changeantes, qui témoignent d'une extrême turbulence. Des mesures dans l'infrarouge ont montré que Jupiter rayonne environ 2,5 fois plus d'énergie qu'il n'en reçoit du Soleil. Ainsi, à la différence de l'atmosphère terrestre, dont les mouvements sont dirigés de l'extérieur par le rayonnement solaire incident, l'atmosphère jovienne est gouvernée de l'intérieur par le rayonnement issu de la planète eËe-même. Ce rayonnement, en s'élevant dans l'atmosphère, y établit des courants de convection. Les zones brillantes représentent des régions où s'élève la matière ainsi chauffée par en dessous ; les bandes sombres constituent, au contraire, des fosses dans lesquelles retombe la matière après s'être refroidie. A cette circulation verticale se superpose une circulation horizontale qui se traduit par des courants est-ouest circulant en sens opposés au nord et au sud de chaque zone brillante. Les différences de vitesse entre ces courants peuvent engendrer des vents de 600 km/h. Il en résulte la formation d'énormes tourbillons. Le plus remarquable apparaît dans l'hémisphère Sud sous l'aspect d'une grande tache rouge, qui s'étend sur 28 000 à 40 000 km en longitude et 13 000 km en latitude. Les photographies spatiales à haute résolution ont permis d'établir qu'il s'agit d'un ouragan géant,

émergeant à quelque 8 km au-dessus de la couche nuageuse environnante. En 1994, une campagne d'observations de Jupiter mettant en œuvre à la fois de nombreux télescopes au sol et des observatoires spatiaux (Hubble*, IUE*, etc.) a permis de suivre la chute sur la planète, entre le 16 et le 22 juillet, des fragments de la comète Shoemaker-Levy* 9, puis les conséquences de ces impacts. De nombreuses informations nouvelles ont ainsi été obtenues sur la structure verticale et la composition chimique de l'atmosphère jovienne. L'exploration spatiale de Jupiter va se poursuivre d'ici à la fin du siècle avec la sonde américaine Galileo*.

STRUCTURE INTERNE. La faible densité moyenne de Jupiter, qui est seulement de 1,31 fois celle de l'eau, implique une composition très différente de celle des planètes telluriques. Elle traduit une structure à base d'hydrogène et d'hélium. Gazeux dans l'atmosphère, l'hydrogène, en profondeur, serait liquide, puis métallique (une phase dans laquelle il acquiert les propriétés d'un métal, ses atomes n'étant plus regroupés en molécules, mais disposés selon une structure en réseau au sein de laquelle les électrons se déplacent librement). La migration progressive de l'hélium, plus lourd, vers le centre de la planète constitue une source de chaleur capable d'expliquer le rayonnement interne de la planète. Au cœur de Jupiter existerait un noyau rocheux dont la masse représenterait 10 à 20 fois celle de la Terre.

CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES DE JUPITER

diamètre équatorial	142 984 km (11,2 fois celui de la Terre)
diamètre polaire	133 540 km
aplatissement	0,065
masse par rapport à celle de la Terre	317,71
densité moyenne	1,33
intensité de la pesanteur à l'équateur	2,64 fois celle de la Terre
vitesse de libération	59,64 km/s
période de rotation sidérale	9 h 50 min à 9 h 56 min •
inclinaison de l'équateur sur l'orbite	3°04'
albédo	0,45
intensité du champ magnétique (au niveau de la couverture nuageuse)	4-10"^{4} T (à l'équateur) à 15-10"^{4} T (au pôle nord)

CARACTÉRISTIQUES ORBITALES DE JUPITER

demi-grand axe de l'orbite	778 300 000 km, soit 5,202 6 ua
distance maximale au Soleil	816 000 000 km
distance minimale au Soleil	740 000 000 km
excentricité	0,048
inclinaison sur l'écliptique	1° 18' 28"
période de révolution sidérale	11 ans 314,84 j
vitesse orbitale moyenne	13,06 km/s
période de révolution synodique	1 an 33 j
distance maximale à la Terre	960 000 000 km
distance minimale à la Terre	590 000 000 km

CHAMP MAGNÉTIQUE. Jupiter possède un champ magnétique dipolaire dont l'axe est incliné d'environ 11° par rapport à l'axe de rotation de la planète. Sa polarité est inverse de celle qu'on observe actuellement pour le champ terrestre (le pôle magnétique sud est situé au voisinage du pôle géographique nord) et le centre du dipôle ne coïncide pas exactement

avec le centre géométrique de la planète. Ce champ magnétique, à l'instar de celui de la Terre, serait engendré par effet dynamo au sein du noyau de la planète. Son existence vaut à Jupiter d'être doté d'une magnétosphère* très étendue.

LES ANNEAUX. L'analyse des photographies prises par les sondes Voyager a conduit à la découverte autour de Jupiter d'un système d'anneaux, constitués de particules dont la nature et les dimensions restent inconnues. L'anneau principal, large de 6 000 km, et son bord extrême se trouvent à 57 000 km des plus hauts nuages entourant Jupiter. Il se prolonge vers la planète par un halo diffus et à l'opposé par un large anneau extérieur, extrêmement ténu.

De nouvelles révélations sur ces anneaux ont été fournies depuis 1997 par la sonde Galileo : vers l'extérieur, l'anneau principal ne s'étend pas au-delà de l'orbite des satellites Métis et Adrastée. De même, les deux anneaux beaucoup plus ténus situés au-delà, appelés « fils de la Vierge », s'arrêtent respectivement au niveau des orbites d'Amalthée et de Thébé. Il est acquis maintenant que le système d'anneaux de Jupiter est alimenté par des poussières provenant des satellites les plus proches de la planète.

LES SATELLITES. DU fait de sa forte masse, Jupiter a pu s'entourer d'un cortège de nombreux satellites. En 1995, on lui connaissait 16 satellites. Parmi ceux-ci, quatre (lo*, Europe*, Ganymède* et Callisto*) jouent un rôle prépondérant. On leur donne le nom de satellites galiléens, car ils furent découverts par Galilée, en 1610. Ils possèdent des dimensions planétaires (le plus gros, Ganymède, est plus volumineux que Mercure) et, avec Jupiter lui-même, ils constituent une véritable réplique en miniature du système solaire. Les autres satellites, dont les dimensions n'excèdent pas quelques dizaines de kilomètres, sont très probablement des astéroïdes qui ont été capturés par l'attraction de Jupiter.

JUPITER ET L'AMATEUR. Le nombre et la diversité des détails observables sur Jupiter à l'aide d'une lunette ou d'un télescope, même de faible puissance, font de cette planète - qui offre en outre l'avantage de briller toute la nuit durant de longues périodes - l'une des plus intéressantes pour l'amateur.

Une simple longue-vue grossissant 30 à 40 fois suffit pour percevoir l'aplatissement marqué du disque. Avec une lunette de 60 mm d'ouverture, on commence à percevoir les bandes nuageuses parallèles à l'équateur. La grande tache rouge apparaît dans les instruments d'au moins 80 mm. Avec un télescope de 150 mm et des grossissements de 150 à 200 fois, une étude détaillée des formations nuageuses devient possible : on y observe de nombreuses irrégularités, notamment des nodosités et des filaments en évolution plus ou moins rapide, qui révèlent une circulation atmosphérique extrêmement turbulente.

En dehors de Jupiter lui-même, ses quatre principaux satellites, lo, Europe, Ganymède et Callisto (ou, plus simplement, I, II, III et IV), visibles avec la plus modeste paire de jumelles, fournissent à l'amateur matière à de passionnantes observations. Gravitant dans un plan très voisin de celui de l'équateur de Jupiter, ces quatre satellites apparaissent toujours pratiquement alignés. Mais, très souvent, l'un d'eux manque à l'appel. Plusieurs phénomènes peuvent en effet survenir durant leur ronde autour de Jupiter : *éclipse* (disparition dans l'ombre de la planète), *occultation* (disparition derrière la planète), ou *passage* sur le disque de la planète (phénomène s'accompagnant d'un passage de l'ombre du satellite sur le disque de Jupiter). Ces phénomènes, qui se reproduisent à chaque révolution des satellites I, II et III (par un effet de perspective, le satellite IV, dont l'orbite est beaucoup plus grande, évite le plus souvent le disque de Jupiter et son ombre), peuvent être aisément suivis avec une lunette de 80 mm d'ouverture, à l'exception des passages des satellites sur le disque de Jupiter, qui exigent un instrument d'au moins 100 mm. Le ballet des satellites est particulièrement intéressant à suivre lorsque Jupiter se trouve en position oblique (quadrature) par rapport à la Terre et au Soleil, car on peut alors observer le maximum de phénomènes.

k

K (bande). L'une des bandes de fréquences utilisées pour les télécommunications par satellites, qui contient les fréquences comprises entre 18 et 27 GHz.

K. Type spectral caractérisant, dans la classification de Harvard, les étoiles dont la température superficielle est comprise entre 5 000 et 3 500 K : des étoiles orangées à rouges, dont le spectre est dominé par les raies de métaux à l'état neutre et les bandes de certaines molécules.

Ka (bande). L'une des bandes de fréquences utilisées pour les télécommunications par satellites, qui contient les fréquences comprises entre 27 et 40 GHz.

Kagoshima. Centre spatial japonais, au sud de l'île de Kyushu, en bordure de l'océan Pacifique, près de la localité d'Uchinoura. Coordonnées géographiques : 31,2° N, 131,1° E.
ENCYCL. Édifié par l'université de Tokyo à partir de février 1962, il est exploité par FIS AS* depuis 1963 pour le lancement de fusées à poudre : fusées-sondes expérimentales, fusées-sondes Kappa et Lambda, lanceurs Mu. Les installations, réparties sur plusieurs collines boisées, occupent une superficie totale de 71 ha. C'est de ce site qu'ont été lancés notamment le premier satellite japonais, Ohsumi, en 1970, les sondes d'exploration de la comète de Halley Sakigake et Suisei, en 1985, et la sonde lunaire Muses-A (ou Hiten), en 1990. Sous la pression des pêcheurs japonais, qui protestaient contre les nuisances liées aux lancements, le gouvernement nippon a décidé de ne pas utiliser ce centre spatial pour les tirs des fusées de la NASDA* et de créer à cet effet un autre centre, sur l'île de Tanegashima*, à une centaine de kilomètres au sud.
Les services de pêcherie nippons ont exigé, par ailleurs, que les lancements, tant à Kagoshima qu'à Tanegashima, n'aient lieu que durant deux périodes de l'année : en janvier-février et en juillet-août.

Kaliningrad **Tsoup**

Kapoustine Iar. Localité de Russie, à 100 km environ au sud-est de Volgograd. À proximité se trouve une base de lancement de missiles et d'engins spatiaux (coordonnées géographiques : 48,4° N, 45,8° E).
ENCYCL. Dès 1947, celle-ci fut utilisée pour l'expérimentation de missiles à moyenne portée et pour des tirs de fusées-sondes. Depuis 1962, elle constitue uncosmodrome utilisé pour le lancement de petits satellites scientifiques ou d'espionnage (Cosmos et Intercosmos notamment).

Kapteyn (Jacobus Cornélius), astronome néerlandais (Barneveld 1851 - Amsterdam 1922).
Il s'efforça de préciser la structure de la Galaxie par des dénombrements d'étoiles en fonction de leur magnitude dans une série de régions du ciel *(Sekcted Areas)* régulièrement réparties sur la sphère céleste. Il développa ainsi les études de statistique stellaire.

Kaus australis. Étoile s du Sagittaire. Magnitude apparente visuelle : 1,8. Type spectral : A0. Distance : 140 années de lumière environ.

Keck (télescopes). Les deux plus grands télescopes optiques et infrarouges du monde, installés à Hawaii, sur le Mauna Kea, à 4 150 m d'altitude, par l'université de Californie et l'Institut de technologie de Californie, grâce aux fonds procurés par la fondation W.M. Keck.

ENCYCL. Identiques et implantés à 85 m l'un de l'autre, ces deux télescopes, à monture azimutale, sont de type Ritchey-Chrétien. Leur miroir primaire est constitué d'une mosaïque de 36 miroirs hexagonaux, de 1,80 m de large chacun, et il offre une surface équivalente à celle d'un miroir circulaire de 10 m de diamètre. La forme de la surface réfléchissante est optimisée pendant les observations par un système d'optique* active. Le premier télescope, Keck 1, a été achevé en 1992 et a fourni sa première image le 17 avril 1993. Le second, Keck 2, est entré en service en 1996. Vers l'an 2000, les deux instruments pourront être utilisés simultanément pour former un interféromètre* optique. Au début du XXIe siècle, ils seront surpassés en dimension par le VLÎ* européen.

Keeler (sillon de). Étroite division dans le système d'anneaux de Saturne, près du bord extérieur de l'anneau A, l'un des deux plus brillants visibles de la Terre. Situé à quelque 136 500 km du centre de Saturne, ce sillon n'a que 35 km de largeur.

Keldysh (Mstislav Vsevolodovitch), ingénieur russe (1911-1978).

Directeur de l'Institut de recherches scientifiques sur la propulsion par réaction (RNII) en 1946 et de la section de mécanique de l'Institut de mathématiques en 1949, il a été un théoricien de la cosmonautique (étude de la dynamique du vol des fusées à étages, de la rentrée des satellites dans l'atmosphère, etc.) avant de devenir l'un des dirigeants du programme spatial soviétique. Élu membre de l'Académie des sciences de l'URSS en 1946, il en fut le président de 1961 à 1974.

Kennedy Space Center (John F.). Principal ensemble de lancement d'engins spatiaux des États-Unis, sur la côte orientale de la Floride, au nord-ouest du cap Canaveral*.

ENCYCL. Créé au début des années 60, le centre spatial John F. Kennedy s'étend sur plus de 50 km de longueur et 8 à 16 km de largeur. Il assure le lancement de tous les vaisseaux spatiaux pilotés américains, mais également d'une large gamme d'engins automatiques, notamment de toutes les sondes lunaires, planétaires ou interplanétaires réalisées aux États-Unis. Depuis le début des années 80, l'activité du centre se concentre essentiellement autour de deux pôles : la cité administrative et industrielle, proche du cap Canaveral, et l'aire de lancement de la navette* spatiale, à quelque 10 km au nord, dominée par un impressionnant bâtiment d'assemblage, le VAB (*Vehicle Assembly Building),* dont la hauteur atteint 158 m et la largeur 215 m.

Kepler (Johannes), astronome allemand (Weil, auj. Weil der Stadt, Wurtemberg, 1571 - Ratisbonne 1630).

11 est l'un des créateurs de l'astronomie moderne. D'origine modeste, il fut admis gratuitement aux séminaires d'Adelberg (1584) et de Tiibingen (1589), où l'un des plus ardents défenseurs de l'hypothèse copernicienne, Mâstlin, l'initia à l'astronomie. Professeur de mathématiques à Graz, il en fut chassé vers 1600 par les persécutions religieuses. Il se réfugia alors à Prague, où il devint le disciple et l'assistant de Tycho Brahe*, auquel il succéda, en 1601, comme astronome de l'empereur Rodolphe II, puis de l'empereur Mathias, qui le nomma professeur de mathématiques à Linz. Sur les instances du duc de Wallenstein, il vint résider à Ulm. À court d'argent, il en était réduit pour vivre à dresser des horoscopes et à vendre de petits almanachs. Partisan du système héliocentrique, il avait dans un premier ouvrage, le *Prodomus... mysterium cosmographicum,* publié en 1596, déjà expliqué pourquoi le système de Ptolémée devait céder la place à la représentation copernicienne du monde. Mais, hanté par les idées pythagoriciennes, il croyait l'Univers construit selon une architecture géométrique. Aussi élabora-t-il un ingénieux modèle géométrique du système de Copernic dans lequel l'orbe de chaque planète occupait une sphère circonscrite à un polyèdre régulier et inscrite dans un autre. En fait, Kepler avait la conviction que le nombre de planètes, leurs distances au Soleil et leurs vitesses de révo-

lution ne sont pas le fruit du hasard. Il se fixa pour objectif de trouver les lois de leur mouvement ainsi que celles qui régissent la distribution et la dimension de leurs orbites. C'est en se livrant à une étude systématique du mouvement de la planète Mars (dont la trajectoire restait mal interprétée par Ptolémée et par Copernic), après de laborieux calculs qu'il contrôla grâce aux observations précises de Tycho Brahe, que Kepler découvrit les deux premières lois qui ont immortalisé son nom. Celles-ci furent publiées en 1609 dans son *Astronomia nova.* Toujours hanté par les idées pythagoriciennes, il s'efforça ensuite de démontrer l'existence d'un rapport harmonique (au sens musical du terme) entre la plus grande et la plus petite vitesse des planètes. Il découvrit ainsi la troisième loi fondamentale du mouvement des planètes, qui établit une relation entre les dimensions des orbites planétaires et les temps mis à les parcourir. Il publia cette loi en 1619 dans son *Harmonices mundi,* où il décrit sa vision quelque peu mystique de l'Univers. Dans les dernières années de sa vie, il se consacra à l'établissement de tables aussi précises que possible des positions des planètes, fondées sur les lois qu'il avait mises en évidence et sur les observations de Tycho Brahe : les *Tables Rudolphines,* qu'il publia en 1627.

Dans un ouvrage posthume, *le Songe,* publié en 1634, il fait état des contraintes que rencontre un voyageur dans l'espace - raréfaction de l'air et apesanteur - et esquisse une description imaginaire de la vie sur la Lune.

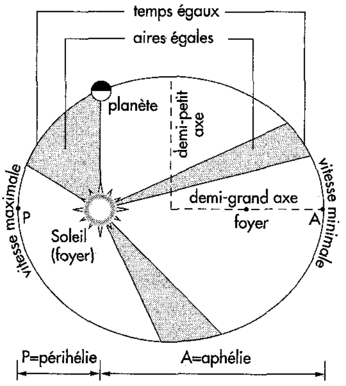
Kepler (lois de). Lois expérimentales du mouvement des planètes autour du Soleil, énoncées par Kepler.

ENCYCL. Elles sont au nombre de trois.

1. Chaque planète décrit dans le sens direct une ellipse dont le Soleil occupe un des foyers.
2. Les aires décrites par le rayon vecteur allant du centre de la planète au centre du Soleil sont proportionnelles aux temps employés à les décrire.
3. Les carrés des temps des révolutions sidérales des planètes sont proportionnels aux cubes des grands axes de leurs orbites.

La deuxième loi, dite *loi des aires,* règle la vitesse de révolution des planètes autour du

Lois de **Kepler**



Soleil. Elle indique qu'une planète se déplace d'autant plus vite qu'elle est proche du Soleil et d'autant plus lentement qu'elle en est plus éloignée. Ainsi, la vitesse de la Terre à son périhélie (2 janvier) atteint 30,27 km/s, alors qu'elle n'est plus que de 29,28 km/s à son aphélie (3 juillet). Ces variations de vitesse en fonction de la distance au Soleil ont une répercussion notamment sur la durée des saisons.

Quant à la troisième loi, elle règle la période de révolution autour du Soleil - autrement dit, la durée de l'année - d'une planète quelconque, en fonction de sa distance au Soleil. Elle établit que la période de révolution est d'autant plus longue que l'orbite de la planète a un plus grand diamètre, les temps de révolution croissant toutefois plus vite que les distances au Soleil. Quelles que soient la planète que l'on considère et les dimensions de son orbite, le quotient du carré de sa période de révolution par le cube du grand axe de son orbite est un nombre constant.

Les lois de Kepler ont, en fait, une portée très générale et s'appliquent à tout corps en mouvement orbital autour d'un autre, en particulier aux satellites (naturels ou artificiels) qui gravitent autour des planètes.

képlérien, enne adj. Relatif à Kepler. *Mouvement képlérien :* mouvement qui s'effectue selon les lois de Kepler. *Orbite képlérienne :* orbite décrite par un corps autour d'un autre sous la seule action de leur attraction gravitationnelle mutuelle. Les orbites

réelles ne sont généralement pas képlériennes, en raison des perturbations*.

kérosène n.m. Hydrocarbure employé comme combustible pour la propulsion des étages inférieurs de certains lanceurs (américains, russes et japonais), en association avec l'oxygène liquide. C'est aussi un carburant bien connu en aéronautique.

Key Hole (expression angl. signifiant *trou de serrure*). Satellites de reconnaissance optique américains.
ENCYCL. Utilisés depuis le début des années 60, les satellites Key Hole (souvent désignés par l'abréviation KH) ont été construits en différentes versions, chacune ayant des performances améliorées par rapport à la précédente.
Les KH 11, lancés de 1976 à 1988 par des fusées Titan III-D, étaient des engins de 13 t, qui ont inauguré la transmission des images au sol sous forme numérique (alors qu'elle nécessitait auparavant la récupération de capsules éjectables dans lesquelles étaient placés les films). La génération actuelle, inaugurée en 1989, est celle des KH 11 améliorés (ou KH 12 Crystal), lancés par la navette spatiale ou par des fusées Titan IV. Placés sur des orbites polaires de 230 à 300 km de périgée et de 500 à 530 km d'apogée, ils ont une longévité de quelques années, supérieure à celle des Big* Bird. Des capteurs infrarouges leur permettent de fonctionner de nuit. Les images obtenues auraient une résolution au sol inférieure à 15 cm.

Kibaltchitch (Nicolaï Ivanovitch), inventeur et révolutionnaire russe (1853-1881).
Membre de la société secrète Narodnaïa Volia (Volonté du peuple), il fut l'un des instigateurs de l'attentat qui coûta la vie au tsar Alexandre II en 1881. Arrêté et condamné à mort, il élabora, durant sa brève incarcération, un projet original d'appareil volant piloté, propulsé par fusée. Dans ce projet, publié pour la première fois en 1918, il eut le mérite de prévoir un moteur-fusée à poudre, le contrôle de la trajectoire par modification de l'angle d'inclinaison du moteur, le régime de combustion, la stabilité de l'appareil, etc. Il apparaît, à ce titre, comme l'un des précurseurs de l'astronautique.

Kiffa australe (d'un nom arabe signifiant *balance*). Étoile *α* de la Balance. Magnitude apparente visuelle : 2,7. Type spectral : A3. Distance : 78 années de lumière.

Kiffa boréale (d'un nom arabe signifiant *balance*). Étoile β de la Balance. Magnitude apparente visuelle : 2,6. Type spectral : B8. Distance : 160 années de lumière.

Kirkwood (lacunes de) [du nom de l'Américain Daniel Kirkwood, qui en a fourni le premier l'explication, en 1866]. Zones de la ceinture d'astéroïdes* pratiquement dépourvues de petites planètes parce que correspondant à des zones de résonance* gravitationnelle où l'attraction de Jupiter interdit aux astéroïdes de se maintenir.
ENCYCL. Ces lacunes s'observent notamment à des distances du Soleil voisines de 374, 422, 443 et 491 millions de kilomètres, correspondant à des orbites telles que la période de révolution des planètes qui les décriraient serait dans un rapport simple - respectivement 1/3, 2/5, 3/7 et 1/2 - avec celle de Jupiter.

Kiruna **Esrange**

Kistler (ou **K 1).** Lanceur américain entièrement réutilisable, à deux étages à ergols liquides, haut de 33 m et pesant 335 t, capable de mettre en orbite basse une masse de 5 t. Son premier vol, depuis la base australienne de Woomera, est attendu pour 2000.

Kitt Peak National Observatory. Observatoire national des États-Unis, en Arizona, dans le désert de Sonora, à 80 km environ de la ville de Tucson, à plus de 2 000 m d'altitude.
ENCYCL. Inauguré en 1960, il rassemble à présent une dizaine de télescopes, parmi lesquels le télescope N.U. Mayall, de 4 m de diamètre, mis en service en 1973, et le télescope McMath, le plus grand télescope solaire du monde, achevé en 1962 (miroir primaire de 1,50 m de diamètre installé au fond d'un tunnel, partiellement enterré, de 150 m de long et incliné de 32° par rapport à l'hori-

zontale ; l'image du Soleil obtenue a 75 cm de diamètre).

Kleinmann-Low (nébuleuse de). Source étendue de rayonnement infrarouge, incluse dans la nébuleuse d'Orion*, et qui constitue une région de formation d'étoiles.

Kochab (de l'arabe *Kaucab-al-She-mali,* l'étoile du nord). Étoile P de la Petite Ourse. Magnitude apparente visuelle: 2,1. Type spectral : K5. Distance : 130 années de lumière.

Kohoutek (comète). Comète découverte le 7 mars 1973, à l'observatoire de Hambourg, par l'astronome tchèque Lubos Kohoutek.
ENCYCL. Son passage au périhélie intervint le 28 décembre 1973, suivi, le 15 janvier 1974, de son passage à sa plus faible distance de la Terre, à 120 millions de kilomètres de notre planète. Elle devint alors perceptible à l'œil nu, le soir, mais sans jamais dépasser l'éclat d'une modeste étoile de magnitude 4. La campagne d'observations, sans précédent pour une comète, fut très fructueuse. Elle a permis, en particulier, de déceler, pour la première fois dans un spectre cométaire, les raies du radical OH à 18 cm de longueur d'onde, en absorption puis en émission, ainsi que des raies de l'acide cyanhydrique HCN et du cyanure de méthyle CH_3CN.

Kondakova (Helena), ingénieur et cosmonaute russe (1957).
ENCYCL. Le 3 octobre 1994, elle devient la troisième femme russe lancée dans l'espace. Elle séjourne cinq mois et demi à bord de la station Mir* et revient sur la Terre le 22 mars 1995 après avoir pulvérisé le record de durée féminin de séjour en orbite avec un vol de 169 j 5 h. Elle a épousé le cosmonaute russe Valeri Rioumine .

Kopernikus — DFS Kopernikus

Korolev (Sergueï Pavlovitch), ingénieur ukrainien (Jitomir 1906 - Moscou 1966).
Après des études à l'Institut polytechnique de Kiev, à l'Institut technique supérieur de Moscou et à l'École des pilotes de Moscou, diplômé comme ingénieur en construction aéronautique (1929), il travaille d'abord dans des bureaux d'études de l'industrie aéronautique et crée pendant ses loisirs une série de modèles de planeurs dont le vol est un succès. Après avoir pris connaissance des travaux de K. Tsiolkovski, il abandonne l'aviation pour se consacrer entièrement aux fusées. En 1931, il rencontre F. Tsander, passionné par les vols interplanétaires, et participe avec lui à l'organisation du Groupe de Moscou pour l'étude de la propulsion par réaction (MosGIRD), dont il prend la direction. L'année suivante, il est l'un des organisateurs, puis le directeur, du Groupe pour l'étude de la propulsion par réaction (GIRD*), au sein duquel est réalisée, en 1933, la première fusée soviétique à propergol liquide. Après la création, en 1933, de l'Institut de recherches scientifiques sur la propulsion par réaction (RNII), il est nommé adjoint scientifique du directeur de cet organisme et, à partir de 1934, directeur de la section des engins volants du type fusée. Pendant la Seconde Guerre mondiale, il est chargé d'équiper en fusées de décollage les avions militaires de série. En 1946, il est placé à la tête du Bureau de construction expérimentale chargé du développement des missiles soviétiques balistiques à longue portée. C'est sous sa direction qu'est réalisé, à partir de 1954, le premier missile balistique intercontinental du monde, le R-7, dont le premier lancement a lieu le 21 août 1957. Six semaines plus tard, sa version lanceur place sur orbite le premier satellite artificiel de la Terre. Dès lors, Korolev, en tant que constructeur principal des lanceurs spatiaux soviétiques, sera l'un des principaux artisans des succès de l'astronautique en URSS : premiers vols habités, première sortie extrâvéhiculaire d'un cosmonaute, premières sondes lunaires, premier impact d'une sonde sur une autre planète (Vénus), etc. Constamment perfectionnée, la « fusée de Korolev », la célèbre Zemiorka*, est devenue le fer de lance du programme spatial russe.

Koronis (famille de). Famille d'astéroïdes située à une distance moyenne du Soleil de 2,88 unités astronomiques.
ENCYCL. Cette famille emprunte son nom à l'astéroïde 158 Koronis, découvert en 1876 et qui a 40 km environ de diamètre. Son

représentant le plus volumineux est l'astéroïde 208 Lacrimosa, avec un diamètre de plus de 40 km. Tous ses membres sont des astéroïdes silicatés, et l'on présume qu'ils proviennent de la fragmentation d'un corps unique dont le diamètre devait être voisin de 90 km.

Kourou. Ville de Guyane française à proximité de laquelle a été construit le Centre spatial guyanais (CSG), le port spatial de l'Europe. Population : env. 17 000 hab. (dont 50 % de créoles, 25 % de métropolitains et 25 % d'immigrés).

ENCYCL. Les accords d'Évian (mars 1962) prévoyaient l'abandon par la France de la base algérienne d'Hammaguir avant le 1er juillet 1967. Après une année d'études comparatives portant sur quatorze sites possibles (îles Seychelles, Guadeloupe, Polynésie, Djibouti, Australie, Mauritanie, Ceylan, Brésil, Madagascar, etc.), le gouvernement français décide, en avril 1964, de créer un centre spatial en Guyane et d'en confier la réalisation au CNES. Kourou ne compte alors que 600 habitants.

Le site idéal doit permettre les lancements aussi bien vers l'est (sens de la rotation terrestre) que vers le nord ou le sud (pour les orbites polaires), être situé au voisinage de l'équateur (afin de profiter au maximum de l'effet de fronde dû à la rotation du globe et d'optimiser la mise en orbite des satellites géostationnaires). La région doit aussi être peu peuplée et épargnée par les cyclones et les séismes.

La Guyane présente la plupart de ces caractéristiques, notamment une faible latitude (environ 5° N pour le CSG) et un profil de côte autorisant des lancements dans un secteur de plus de 100° entre le nord et l'est (entre - 10,5° et + 93,5°). Dans ces conditions, les véhicules spatiaux ne survolent aucune terre avant 4 000 km. Grâce à cette situation privilégiée, tout lancement vers l'est conduit à un gain de masse sur la charge utile d'environ 17 % par rapport à un lancement depuis cap Canaveral (28,5° N).

Opérationnel depuis avril 1968, le CSG a effectué près de 500 lancements : ballons, fusées-sondes et satellites (programmes Diamant, Europa et Ariane).

MISSIONS. Depuis 1977, les activités du CSG concernent exclusivement le programme Ariane, dont le développement et la production se sont déroulés dans le cadre de l'Agence spatiale européenne et dont la commercialisation, la production opérationnelle et les lancements ont été confiés à la société Arianespace. L'ESA participe au financement du fonctionnement du CSG dans le cadre d'un accord conclu entre les États membres de cette organisation.

La mission du CSG, qui s'achève avec la séparation de la charge utile du dernier étage du lanceur, comprend trois volets :

- apporter un soutien logistique général aux équipes industrielles lors de la campagne en assurant des services divers (les télécommunications, la régie, la météorologie, les transports, l'hébergement, la mise à disposition d'installations ou de laboratoires) ;
- assurer la réception et le traitement des informations qui sont mesurées à bord du lanceur et qui permettent une bonne connaissance de son fonctionnement et établir la trajectoire précise du lanceur à l'aide de moyens optiques et de radars ;
- assurer la sécurité des personnes et la sauvegarde des biens en particulier pendant les opérations dangereuses et les lancements.

MOYENS. Les infrastructures du CSG sont installées le long de la côte adantique, entre Kourou et Sinnamary, dans une zone de 90 000 ha. Les principaux moyens mis en œuvre sont :

- le centre technique, qui abrite divers services, et le centre *de* contrôle, d'où est assurée, en temps réel, la direction opérationnelle des lancements ;
- les trois ensembles de lancement (ELA), construits à plus de 10 km au nord-ouest du centre technique : ELA 1, désaffecté en 1989 après 25 lancements, ELA 2, d'où partent tous les lanceurs Ariane 4, ÉLA 3, réservé aux lanceurs Ariane 5 ;
- un centre météorologique ;
- des moyens de localisation (optique et radar), qui restituent la trajectoire du lanceur et fournissent les informations nécessaires à la sauvegarde et au diagnostic de satellisation ;
- des stations de réception de télémesure, complétées par des stations aval implantées près de Natal (Brésil), sur l'île d'Ascension, près de Libreville (Gabon), à Malindi (Ke-

nya) et à Hartebeesthoek (Afrique du Sud), qui enregistrent les données transmises au cours du vol ;
- des moyens de communication entre les différentes installations et avec le réseau international ;
- des ensemble de préparation de charges utiles (EPCU), mis à la disposition des clients pour la préparation de leurs satellites depuis l'arrivée en Guyane jusqu'au montage sur le lanceur ;
- enfin, des moyens logistiques très variés (fourniture d'énergie et de fluides divers, transport de matériels et de personnel, dispositifs de sécurité, etc.).

Pour produire et assembler les composantes du nouveau lanceur Ariane 5, des industriels sont installés à proximité de la base de lancement. Les blocs de poudre sont fabriqués par l'usine de propergol de Guyane, l'assemblage des propulseurs et le montage des lanceurs étant assurés par Europropulsion et Aérospatiale. L'Air Liquide fabrique l'oxygène et l'hydrogène liquides nécessaires aux lancements et aux essais.

Environ 1 500 personnes travaillent en permanence à Kourou pour assurer la mise en œuvre des installations et équipements du CSG et d'Arianespace.

KPNO -» Kitt Peak National Observatory

Kreutz (groupe de). Groupe de comètes qui frôlent le Soleil lors de leur passage au périhélie.

ENCYCL. Ce groupe porte le nom de l'astronome allemand Heinrich Kreutz (1854-1907) qui fut l'un des premiers, à la fin du XIXe siècle, à étudier ce type de comètes. Les astres concernés ont une distance minimale au Soleil comprise entre 0,01 et 0,001 fois la distance Terre-Soleil, et leur période de révolution est, en général, de l'ordre de 700 à 1 000 ans. À ce groupe appartient notamment la grande comète de mars 1843, celle de 1880, la comète Ikeya*-Seki et la comète Howard-Koomen-Michels, qui s'est désagrégée dans l'atmosphère du Soleil le 30 août 1979.

Krikalev (Sergueï Konstantinovitch), cosmonaute russe (Leningrad, auj. St Pétersbourg, 1958).

Après avoir participé à deux vols de longue durée dans la station Mir (nov. 1988-avril 1989, puis mai 1991-mars 1992, avec sept sorties extravéhiculaires au cours de ce deuxième séjour), totalisant ainsi quinze mois passés dans l'espace, il a été le premier Russe invité à participer à une mission de la navette spatiale américaine (Discovery, 3-11 février 1994). En décembre 1998, il fait partie de l'équipage de la navette qui met en orbite *Unity,* le deuxième élément de la Station spatiale internationale. A cette occasion, il est - avec l'Américain R. Cabana - le premier homme à pénétrer, le 10 décembre, dans l'embryon de la future station.

Krikalev a été désigné comme membre du premier équipage qui doit occuper la Station spatiale internationale, en 2000.

Kristall. Troisième module expérimental raccordé à la station orbitale russe Mir le 10 juin 1990. Long de 13,7 m, pesant 19,61, 11 est plus spécialement dédié à la biotechnologie et à la science des matériaux.

Ku (bande). L'une des bandes de fréquences utilisées pour les télécommunications par satellites, qui contient les fréquences comprises entre 12 et 18 GHz.

Kuiper (Gérard Pieter), astrophysicien américain d'origine néerlandaise (Harenkarspel 1905 - Mexico 1973). On lui doit la mise en évidence de la présence de méthane dans l'atmosphère de Titan (1945) et de gaz carbonique dans celle de Mars (1947), des mesures du diamètre de Neptune (1949) et de celui de Pluton (1950), l'identification de bandes d'absorption caractéristiques de la glace dans le spectre des calottes polaires de Mars et des anneaux de Saturne (1948), la découverte du cinquième satellite d'Uranus, Miranda (1948), et du deuxième satellite de Neptune, Néréide (1949). Il a aussi fait l'hypothèse d'une concentration d'astéroïdes au-delà de Neptune (ceinture* de Kuiper). Sous sa direction a été réalisé, en 1960, un atlas photographique de la Lune.

Kuiper Airborne Observatory (KAO). Télescope américain de type Cassegrain, de 91 cm de diamètre, embarqué à bord d'un avion Lockheed C-141 et utilisé par la NASA depuis 1975.
ENCYCL. Les observations à l'aide de cet instrument s'effectuent à 12 km d'altitude, à un niveau où 85 % environ de l'atmosphère terrestre et plus de 99 % de la vapeur d'eau qu'elle renferme sont éliminés. La précision de pointage peut être inférieure à 2". Parmi les découvertes à l'actif de ce télescope figure celle des anneaux de la planète Uranus*.

Kvant (mot russe signifiant *quantum*). Véhicules spatiaux automatiques russes lancés vers la station orbitale Mir afin d'en accroître le volume habitable et les capacités de recherches. Deux exemplaires ont été satellisés en mars 1987 et en novembre 1989.

L (bande). L'une des bandes de fréquences utilisées pour les télécommunications par satellites, qui contient les fréquences comprises entre 1 et 2 GHz.

L Mi. Abréviation de *Léo Minor,* désignant la constellation du Petit Lion.

La Caille (abbé Nicolas Louis de), astronome français (Rumigny, Champagne, 1713 - Paris 1762).
De 1750 à 1754, au cap de Bonne-Espérance, il procéda à une révision générale du ciel austral, observant environ 10 000 étoiles groupées dans 14 constellations et dressant la première liste systématique de nébuleuses ; il fit des mesures méridiennes importantes, et, conjointement avec Lalande à Berlin, effectua la première détermination précise de la parallaxe de la Lune.

La Hire (Philippe de), astronome et mathématicien français (Paris 1640-1718).
Avec J. Picard*, il détermina les coordonnées géographiques de plusieurs villes de France (1679-1682) ; puis, en 1683, il entreprit avec J.D. Cassini* la mesure de l'arc de méridien traversant la France de Dunkerque à Perpignan. Il installa le premier instrument méridien de l'Observatoire de Paris.

La Palma. L'une des îles Canaries, sur laquelle est situé l'observatoire de *Roque* de los Muchachos.*

La Silla (observatoire de) -+ European Southern Observatory

Laboratoire de recherches balistiques et aérodynamiques (LRBA). Etablissement militaire français créé en 1949 à Vernon (Eure) pour mettre au point et expérimenter les prototypes de missiles. En développant, à partir de 1950, la filière de fusées-sondes *Véronique,* il a permis aux ingénieurs français d'acquérir une première expérience en matière de propulsion à ergols liquides.

laboratoire spatial (ou **orbital).** Élément d'une station spatiale (ou orbitale) où sont menées des activités de recherche scientifique ou technologique.

labyrinthus (mot latin ; pl. *labyrinthi)* n.m. Réseau complexe de vallées qui s'entrecroisent, dans la nomenclature internationale du relief des surfaces planétaires.

Lac. Abréviation de *Lacerta,* désignant la constellation du Lézard.

Lacerta (-ae). Nom latin de la constellation du Lézard (abrév. *Lac).*

lacertide n.f. Radiosource extragalactique, dont l'objet *BL Lacertae* est le prototype, qui s'apparente aux quasars*, mais dont le spectre est pratiquement dépourvu de raies d'absorption ou d'émission. Les lacertides se présentent optiquement sous l'aspect d'un noyau extrêmement lumineux entouré d'une faible nébulosité assimilable à une galaxie.

Lacrosse. Satellites américains de surveillance militaire par radar.

ENCYCL. Ces satellites, lancés par la navette spatiale, orbitent entre 250 et 700 km d'altitude, avec une inclinaison de 57° sur l'équateur. Ils ont 18 m de longueur et 4,5 m de diamètre pour une masse de 151 environ. Ils sont dotés d'un radar imageur qui les rend opérationnels de jour comme de nuit et quelle que soit la couverture nuageuse. Les images obtenues sont transmises sous forme numérique à la station de White* Sands, par l'intermédiaire de satellites relais de télécommunications TDRS* de la NASA. La capacité de résolution au sol serait de 1 à 5 m pour une largeur balayée de 20 km. Le premier satellite Lacrosse a été lancé le 2 décembre 1988.

lacus (mot latin ; pl. *lacus)* n.m. Dans la nomenclature du relief de la surface lunaire et dans la nomenclature ancienne du relief de la surface de Mars, petite formation sombre, isolée, que l'on pensait autrefois être une étendue d'eau.

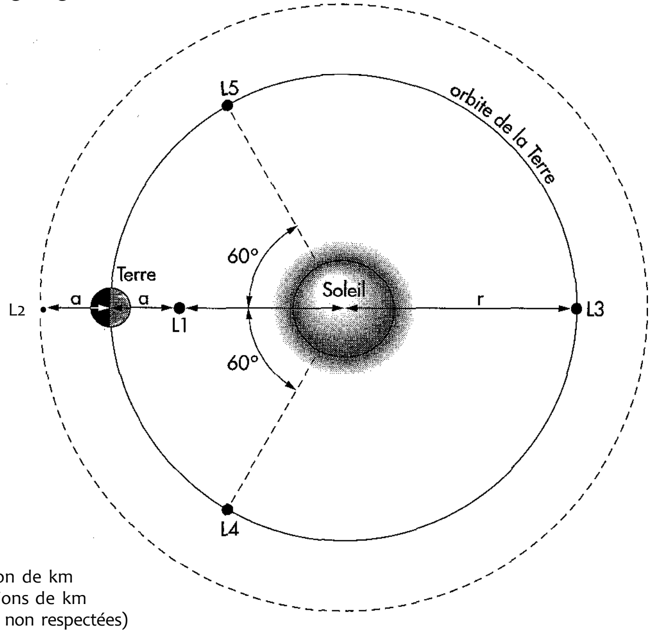
Lageos (abrév. de *LAser GEOdynamics Satellite)* Satellites géodésiques.
ENCYCL. Lageos 1, américain, a été lancé le 4 mai 1976. Grâce à son altitude élevée (5 900 km) et aux 426 réflecteurs qui recouvrent sa surface sphérique, il peut servir de cible pour des expériences de télémétrie laser pour la mesure de distances à quelques centimètres près. Pendant au moins cinquante ans, il sera utilisé pour des recherches sur les mouvements de la croûte terrestre ou des pôles, la tectonique des plaques, etc. Il devrait rester en orbite pendant plusieurs millions d'années. Lageos 2, identique mais de fabrication italienne, a été lancé le 23 octobre 1992 par la navette américaine en vue de compléter les mesures de Lageos 1 : il gravite à la même altitude, mais son orbite est inclinée de 52° au lieu de **110°.**

Lagrange (Joseph Louis de), mathématicien français (Turin 1736-Paris 1813).
Il publia en 1788 un volumineux traité de *Mécanique analytique* réunissant notamment les résultats de ses calculs sur la stabilité du système solaire, montrant que les inégalités progressives remarquées dans les mouvements des planètes sont en fait des variations à très longue période, dues aux perturbations mutuelles des planètes. Ces perturbations ont un caractère périodique, de sorte que, à longue échéance, le système reste stable.

Lagrange (points de). Points situés dans le plan orbital d'un système de deux corps célestes en rotation autour de leur centre de gravité mutuel, où peut se maintenir, sous l'attraction gravitationnelle conjuguée de ces deux corps, un troisième corps de masse négligeable par rapport à celle des composantes du système.
ENCYCL. Ces points portent le nom de J.L. de Lagrange qui démontra leur existence en 1772. Ils sont au nombre de cinq, notés respectivement L_1, L_2, L_3, L_4 et L_5. Trois (L_3, L_4 et L_5) se trouvent sur l'orbite de la composante la moins massive du système, à 60°, 180° et 300° respectivement de la direction formée par les deux composantes du système. Les deux autres se trouvent sur la ligne joignant les centres des deux composantes du système : l'un (L_1) entre ces composantes, l'autre (L_2) au-delà de la composante la moins massive. Les Troyens* sont des astéroïdes qui gravitent au voisinage des deux points stables du système Soleil-Jupiter sur l'orbite de Jupiter, respectivement à 60° en avant et 60° en arrière de la planète (formant ainsi un triangle équilatéral avec le Soleil et Jupiter). De même, certains petits satellites de Saturne (Hélène*, Calypso*, Télesto*) sont des exemples de corps stabilisés aux points de Lagrange d'une orbite et sont appelés pour cette raison *satellites lagrangiens.*
L'observatoire solaire et héliosphérique Soho* gravite sur une orbite en halo* à proximité du point de Lagrange L_1 du système Terre-Soleil.

Lagune (nébuleuse de la) [ou **nébuleuse du Lagon]**, Nébuleuse à émission, cataloguée M8 (ou NGC 6523), dans la constellation du Sagittaire.
ENCYCL. C'est un vaste nuage d'hydrogène et de poussières, situé à quelque 4 500 années de lumière du système solaire. Ses parties brillantes correspondent à du gaz ionisé par le rayonnement ultraviolet d'étoiles jeunes très chaudes, en particulier celles de l'amas NGC 6530, âgées de 2 millions d'années

Points de **Lagrange**



a = 1,5 million de km
r = 150 millions de km
(échelles non respectées)

seulement. Sa partie centrale constitue la nébuleuse du Sablier, chauffée par l'étoile Herschel 36, qui serait âgée de moins de 10 000 ans. La nébuleuse tire son nom (imaginé au début du XXe siècle par l'Américaine Agnès M. Clercke) des bras sombres qui la traversent : ceux-ci sont formés de poussières qui absorbent le rayonnement du gaz et des étoiles situées derrière.

Laïka. Nom de la petite chienne qui fut le premier être vivant installé dans une capsule spatiale (Spoutnik 2) afin d'étudier ses réactions, d'abord aux accélérations et aux vibrations du lancement, ensuite à l'état d'impesanteur qui caractérise tout séjour en orbite.

ENCYCL. Satellisée le 3 novembre 1957, Laïka fut surveillée pendant une semaine, jusqu'à la panne de l'émetteur radio. Elle dut mourir peu après, à l'épuisement des réserves d'oxygène. Sa capsule s'est désintégrée en rentrant dans l'atmosphère le 14 avril 1958.

Lalande (Joseph Jérôme Lefrançois de), astronome français (Bourg-en-Bresse 1732-Paris 1807).

Il participa en 1751 à la vaste opération de triangulation conçue pour déterminer la distance moyenne de la Lune : il fut envoyé à Berlin pour mesurer la parallaxe lunaire, tandis que La Caille opérait au cap de Bonne-Espérance. La comparaison des résultats obtenus par les deux astronomes fournit une excellente valeur de la parallaxe cherchée, 57' 11", la valeur moyenne admise de nos jours étant 57' 2". Reçu membre de l'Académie de Berlin, et élu en 1753 à l'Académie des sciences, il effectua ensuite des travaux de mécanique céleste. En 1761 et en 1769, il joua un rôle important dans les opérations internationales menées pour observer le passage de Vénus devant le Soleil et déterminer ainsi la parallaxe solaire. En 1762, il succéda à Delisle comme professeur au Collège de France. De 1795 à 1800, il fut directeur de l'Observatoire de Paris, délégué par

le Bureau des longitudes. Il publia en 1801 une *Histoire céleste française,* groupant les observations qu'il avait effectuées, avec son neveu (en fait, probablement son cousin) Michel de Lalande, entre 1789 et 1798, et qui indique la position de 50 000 étoiles jusqu'à la magnitude 9, comprises entre le pôle et la déclinaison 20°. Il s'illustra aussi comme vulgarisateur de l'astronomie.

Lallemand (André), astronome français (Cirey-lès-Pontailler, Côte-d'Or, 1904-Paris 1978).
Il a mis au point des photomultiplicateurs très sensibles pour la photométrie stellaire et inventé la caméra électronique (1936).

Lambda. Premier lanceur japonais, quadriétage, à poudre, mis au point à partir d'un modèle de fusée-sonde. Il a cessé d'être utilisé, au profit des lanceurs Mu*, après la mise sur orbite du premier satellite japonais, Ohsumi, le 11 février 1970.

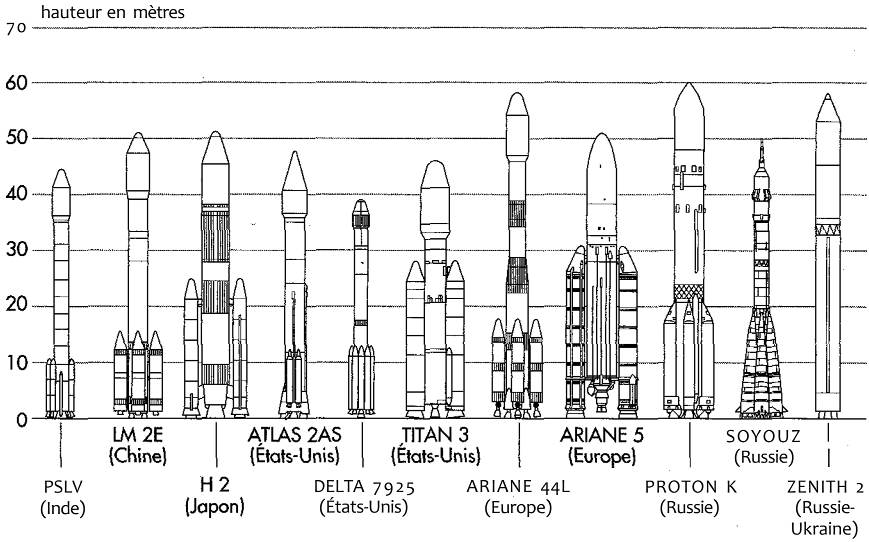
lancement n.m. Envoi d'un engin dans l'espace.

lanceur n.m. Véhicule aérospatial propulsif capable d'envoyer une charge utile dans l'espace.
ENCYCL. La fonction du lanceur consiste à amener sa charge utile en un « point » donné de l'espace (le point d'injection) avec la vitesse précise (définie en grandeur et en direction) qui correspond à la mission prévue. À 200 km d'altitude, cette vitesse vaut 7,80 km/s pour une orbite circulaire et 10,25 km/s pour l'orbite de transfert géostationnaire. Sa direction est perpendiculaire à la verticale locale. Le satellite est généralement injecté au périgée de son orbite, que le lanceur atteint en dépensant un minimum d'énergie. Dans le cas d'un satellite héliosynchrone, le point d'injection se trouve à 800 ou 900 km d'altitude : le lanceur doit y parvenir avec une vitesse d'environ 7,50 km/s.

À l'exception des navettes* spatiales, d'une conception tout à fait originale, tous les lanceurs actuels sont du type consommable ; ils ne servent qu'une seule fois et aucun de leurs éléments n'est récupéré. Ils se ressemblent plus ou moins, notamment par leur aspect extérieur et leur mode de fonctionnement.
Leur silhouette est celle d'un long cylindre, haut de 30 à 60 m : au sommet, protégée par une coiffe, la charge utile, composée d'un ou de plusieurs satellites ; à la base, un groupe de moteurs.
Pour pouvoir fonctionner dans l'atmosphère et dans le vide, un lanceur met en œuvre une propulsion* appropriée, la propulsion par réaction, grâce à des moteurs-fusées.
Il décolle toujours verticalement, le déplacement étant obtenu par éjection, vers l'arrière, à vitesse très élevée, d'importantes quantités de gaz produits par les moteurs. Ceux-ci brûlent divers ergols, selon les modèles, des poudres ou des liquides. Dans le cas des liquides, les couples les plus utilisés sont oxygène-hydrogène, oxygène-kérosène et peroxyde d'azote-UDMH.
Les ergols constituent l'essentiel de la masse d'un lanceur au moment de son décollage, par exemple 90 % pour Ariane 4 ou 5 (contre 9 % pour les structures et 1 %, seulement, pour la charge utile).
Pour des raisons d'efficacité, un lanceur comprend toujours plusieurs étages, le plus souvent trois, qui fonctionnent successivement et sont largués une fois vides. De plus, depuis quelques années, afin d'améliorer les performances, un certain nombre de propulseurs d'appoint (à liquides ou à poudre) sont ajoutés latéralement contre l'étage de base.
Autre particularité des lanceurs spatiaux : la brièveté de leur fonctionnement (de dix à vingt minutes selon les missions).
Un lanceur se caractérise, notamment, par la valeur de la masse qu'il peut emporter : il est d'autant plus puissant qu'il est plus lourd au moment du décollage et qu'il emploie des ergols plus performants.
Des dizaines de versions de lanceurs spatiaux ont été mises au point dans le monde, certaines étant à présent abandonnées.
L'éventail des modèles disponibles aujourd'hui est délimité :

- d'une part, par le petit lanceur israélien Shavit (environ 20 t au lancement), capable de satelliser une masse de 160 kg ;
- d'autre part, par les puissants lanceurs Ariane 5 (Europe) et Proton (Russie) qui peuvent emporter jusqu'à une vingtaine de tonnes en orbite basse.

Principaux **lanceurs** consommables utilisés dans le monde



Tous les autres lanceurs (à l'exception de la navette américaine) ont des performances qui s'échelonnent entre ces deux extrêmes.
Depuis le lancement de Spoutnik 1, en 1957, près de 4 000 lanceurs ont servi à mettre sur orbite à peu près autant de satellites artificiels. Le rythme actuel des lancements est inférieur à une centaine par an.
Seules les puissances spatiales possèdent leurs propres lanceurs : la CEI (Proton, Soyouz, Molnia, Cosmos, Zénith, Cyclone, etc.), les États-Unis (la navette, Atlas, Delta et Titan), l'Europe (Ariane 4 et 5), le Japon (H 2), la Chine (Longue Marche), l'Inde (PSLV) et Israël (Shavit).
En quarante ans, l'ex-URSS a utilisé plus de 2 500 lanceurs, les États-Unis, plus de 1 100 et l'ensemble des autres puissances, près de 300 (dont plus d'une centaine pour l'Europe, une cinquantaine pour le Japon et autant pour la Chine et une vingtaine pour la France avant qu'elle n'arrête ses activités nationales en ce domaine au profit du lanceur européen Ariane). **fusée, tableau des principaux lanceurs en service en 1999, en fin d'ouvrage**

lander (mot américain) **atterrisseur**

Landsat. Satellites civils américains destinés à l'observation des ressources terrestres depuis l'espace.
ENCYCL. Le lancement du premier satellite Landsat, le 23 juillet 1972, a marqué un tournant dans le développement des applications spatiales. Cet engin était en effet entièrement voué, pour la première fois, à l'observation civile de la Terre depuis l'espace.
Auparavant, l'observation spatiale dé la Terre à des fins civiles, en dehors du domaine très particulier de la météorologie, avait été testée à partir des vaisseaux spatiaux américains pilotés circumterrestres *Mercury, Gemini et Apollo.*
L'intérêt des photographies spatiales avait été clairement établi pour de nombreuses applications : cartographie, aménagement des territoires, classification des terrains et des végétations, évaluation des cultures et des forêts, géologie, hydrologie, océanologie. En particulier s'était avérée très intéressante la technique dite « de photographie

multibande », qui consiste à prendre simultanément une vue de la même région dans plusieurs gammes de longueurs d'onde, chacune étant choisie pour faire ressortir *certains éléments* de l'environnement. D'une masse voisine de 1 t, Landsat 1 gravitait à environ 900 km d'altitude, sur une orbite quasi polaire inclinée à 99° sur l'équateur et ajustée pour être héliosynchrone*. Au cours de son mouvement, Landsat 1 photographiait sous sa trajectoire une bande de terrain large de 185 km, ce qui lui permettait en principe de photographier la totalité de la surface terrestre tous les 18 jours. Ce satellite était équipé de deux instruments principaux : d'une part, un ensemble de trois caméras de télévision de type Vidicon, fournissant des images en couleurs dans le domaine visible ; d'autre part, une chambre multibande à balayage obtenant d'une manière continue des vues dans quatre gammes de longueurs d'onde, la 1^{K} située dans le vert (de 0,5 à 0,6 pm), la 2e dans l'orange (de 0,6 à 0,7 pm), la 3e dans le rouge et le proche infrarouge (0,7 à 0,8 pm), et enfin la 4e dans l'infrarouge (0,8 à 1,1 pm).

Landsat 1 a fonctionné 8 ans, mais sa relève a été assurée dès le 22 janvier 1975 par Landsat 2, pratiquement identique, qui a lui-même cessé d'être exploité en février 1982. Landsat 3, mis sur orbite le 5 mars 1978, possède une caméra multibande à balayage obtenant des images dans une cinquième gamme de longueurs d'onde (dans l'infrarouge thermique, de 10,4 à 12,6 pm).
Landsat 4, lancé le 16 juillet 1982, et sa réplique, Landsat 5, lancé le 1er mars 1984, possèdent un nouvel instrument, une caméra multibande « thématique » à 7 gammes de longueurs d'onde, qui fournit des images du sol offrant une résolution de 30 m dans le visible et le proche infrarouge, contre 80 m seulement pour les images fournies par les trois premiers engins de la série.
Landsat 6, lancé le 5 octobre 1993 par une fusée Titan II, n'a pu atteindre son orbite. Landsat 7, identique au précédent, a été placé sur orbite par une fusée Delta le 15 avril 1999. Sa durée de vie espérée est de six ans. Ses images offrent une résolution de 15 m en mode panchromatique.

Langley (Samuel Pierpont), astronome et physicien américain (Roxbury, Massachusetts, 1834-Aiken, Caroline du Sud, 1906).
Ses travaux astronomiques les plus importants se rapportent au domaine infrarouge du spectre solaire, *qu'il étudia à l'aide au bolomètre,* qu'il inventa en 1881.

Langrenus. Cirque lunaire, sur le bord de la mer de la Fécondité. Coordonnées : 61° E., 9° S. Diamètre : 132 km. Facile à identifier, il possède des remparts à terrasses et, au centre, un important massif montagneux.

Lannion. Chef-lieu d'arrondissement des Côtes-d'Armor, siège depuis 1962 du Centre d'études de météorologie spatiale (CEMS), chargé de l'exploitation et de la diffusion en France des données transmises par les satellites météorologiques.
Depuis sa création, le CEMS a notamment assuré la diffusion des images fournies par les satellites américains TIROS, ESSA, Nimbus, NOAA ; par les satellites soviétiques Meteor ; et par les satellites européens Météosat. En 1974, il fut l'un des premiers centres à recevoir les images du premier satellite météorologique géostationnaire, SMS 1.

Laplace (Pierre Simon, marquis de), astronome, mathématicien et physicien français (Beaumont-en-Auge, Normandie, 1749-Paris 1827).
Fils d'un cultivateur, il fut nommé, à vingt ans, grâce à d'Alembert, au poste de professeur de mathématiques à l'Ecole royale militaire. Professeur à l'École normale, puis examinateur à l'École polytechnique, il fut nommé ministre de l'Intérieur, au lendemain du 18-Brumaire ; mais, peu doué pour la politique, il fut bientôt remplacé à ce poste par Lucien Bonaparte. Entré en 1799 au Sénat, dont il devint le vice-président en 1803, comblé d'honneurs par Napoléon, qui le nomma comte de l'Empire en 1806, il vota cependant en 1814 la déchéance de l'Empereur, et se rallia à Louis XVIII, qui le fit marquis et pair de France. L'œuvre astronomique de Laplace concerne la mécanique céleste. Son *Exposition du système du monde (1796)* contient sa célèbre hypothèse cosmogonique, selon laquelle le système solaire serait issu d'un nébuleuse en rotation; le

refroidissement des couches extérieures joint à la rotation aurait engendré dans le plan équatoriai de la nébuleuse des anneaux successifs, tandis que le noyau central aurait formé le Soleil. La matière de chacun de ces anneaux aurait donné naissance, par condensation en un de ses points, à une planète qui, par le même processus, aurait engendré à son tour des satellites. Cette hypothèse connut un immense succès et les théories actuelles de la formation du système solaire s'en inspirent encore. Dans sa *Mécanique céleste* (1798-1825), Laplace a synthétisé les travaux de Newton, de Halley, de Clairaut, de d'Alembert et d'Euler sur les conséquences de la loi de l'attraction universelle.

largable adj. Se dit d'un élément de véhicule spatial destiné à être éjecté dès qu'il a cessé de servir. Par exemple, la coiffe et les étages d'un lanceur, le bouclier thermique et le module de service d'une capsule spatiale sont des éléments largables.

Large Binocular Telescope (LBT). Grand télescope binoculaire comportant deux miroirs primaires identiques de 8,4 m de diamètre (à structure allégée en nid d'abeilles) disposés côte à côte sur une monture unique, qui doit être mis en service en 2001 à 3 170 m d'altitude, sur le mont Graham, dans l'est de l'Arizona (États-Unis), dans le cadre d'une coopération entre les universités américaines d'Arizona et d'Ohio et l'observatoire italien d'Arcetri. Sa surface collective de lumière sera équivalente à celle d'un télescope à miroir unique de 11,8 m de diamètre.

Large Millimeter Telescope. Projet de radiotélescope américano-mexicain, de 50 m de diamètre, qui sera implanté sur le Cerro La Negra (Mexique), à 4 640 m d'altitude, et sera le plus grand radiotélescope du monde opérant dans la gamme des longueurs d'onde de 1 à 4 mm.

Larissa. Satellite de Neptune (n° IV), découvert ^en 1989 par la sonde américaine Voyager 2. Demi-grand axe de son orbite : 73 600 km. Période de révolution sidérale : 13 h 26 min. Dimensions : 208 x 178 km.

Las Campanas (observatoire de). Observatoire américain, appartenant à la Carnegie Institution de Washington et qui est situé au Chili, dans la Sierra del Condor, à 2 300 m d'altitude. En attendant la mise en service du télescope Magellan*, ses principaux instruments sont un télescope de 2,57 m d'ouverture et un télescope de 1 m.

laser (sigle de l'angl. *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation),* dispositif produisant un faisceau intense de lumière cohérente.

ENCYCL. La lumière émise par un laser est cohérente (apte à produire des interférences) à la fois dans le temps et dans l'espace. Il en résulte deux conséquences fondamentales.

1. Contrairement au rayonnement des sources incohérentes, le rayonnement laser est directif ; la divergence du faisceau peut être limitée à quelques secondes d'angle. On peut donc concentrer dans un faible angle solide une énergie ou une puissance considérable.

2. Par focalisation d'un faisceau laser, on obtient, au foyer du dispositif optique utilisé, une tache focale de très petites dimensions et donc une très grande concentration d'énergie par unité de surface.

Le laser trouve dans l'espace des applications scientifiques et militaires. Sur le plan scientifique, on l'utilise en géodésie spatiale pour des mesures de télémétrie laser :'née en France au cours des années 60, cette technique consiste à émettre des trains d'impulsions de rayonnement laser à partir d'une station au sol en direction d'un satellite muni de prismes catadioptres, puis- à en recueillir les échos. Connaissant l'intervalle de temps qui sépare l'émission de la réception, on en déduit la distance du satellite à la station avec une précision qui était initialement de 1 à 2 m et qui atteint aujourd'hui quelques centimètres. Avec un réseau de stations au sol, on peut ainsi réaliser des rattachements géodésiques précis. Alors que les distances entre les continents étaient connues en 1960 avec une précision de l'ordre de 100 m, elles le sont aujourd'hui avec une précision de l'ordre de 1 cm.

Des réflecteurs laser ont été déposés sur la Lune lors des missions Apollo 11 à 17, entre

1969 et 1972 ; de plus, un réflecteur laser de fabrication française équipait chacune des deux stations soviétiques Lunokhod déposées sur la Lune en 1970 et 1973. Les mesures effectuées à partir de stations situées dans l'ex-URSS (en Crimée), aux États-Unis (au Texas, en Arizona, en Californie) et en France (observatoire du pic du Midi et Centre d'études et de recherches géodynamiques et astronomiques [CERGA]) ont permis de déterminer la distance instantanée de la Lune à 10 cm près seulement et ainsi de déterminer avec une précision accrue les paramètres de la rotation du globe lunaire sur lui-même, d'améliorer les théories du mouvement orbital de la Lune, de mieux connaître la dynamique du système Terre-Lune, etc. Des faisceaux laser sont utilisés dans la technique de l'optique* adaptative. Enfin, diverses expériences mettent en œuvre l'utilisation spatiale de lidars* pour l'étude de l'atmosphère.

Lassell (William), astronome anglais (Bolton, Lancashire, 1799-Maidenhead 1880).
Il découvrit le premier satellite de Neptune, Triton, en 1846, le septième satellite de Saturne, Hypérion, en 1848 (deux jours après G.P. Bond, qui l'avait observé à Cambridge, États-Unis), et les deux premiers satellites d'Uranus, Ariel et Umbriel, en 1851.

latitude n.f. Dans un système de coordonnées sphériques, distance angulaire d'un point à l'équateur, comptée de 0 à 90° vers le Nord ou vers le Sud. Dans le système de coordonnées équatoriales célestes, l'équivalent de la latitude est la déclinaison*.

Lavotchkine. Entreprise de construction spatiale russe.
ENCYCL. Implantée à Khimki, dans la banlieue nord-ouest de Moscou, cette firme est maître d'œuvre des vaisseaux spatiaux russes automatiques pour l'exploration du système solaire et construit également des satellites de télécommunications ou d'observation de la Terre. Son financement est assuré par l'Académie des sciences de Russie, le ministère de la Défense russe et des clients de projets commerciaux.

LBNP (sigle de l'angl. *Low Body Négative Pressure).* Technique utilisée pour limiter les effets de l'impesanteur sur l'organisme humain, qui consiste à appliquer une pression négative sur la moitié inférieure du corps afin de rétablir une circulation sanguine presque normale dans les membres inférieurs.

LBT. Sigle de *Large* Binocular Telescope.*

LDEF (sigle de l'angl. *Long Duration Exposure Facility).* Plate-forme autonome passive, récupérable, américaine, destinée à la réalisation d'expériences nécessitant de longues durées d'exposition à l'environnement spatial.
ENCYCL. Le satellite LDEF a été placé sur orbite le 7 avril 1984 lors du 11e vol de la navette spatiale. Long de 9,1 m pour 4,3 m de diamètre, il emportait 57 expérimentations
Le satellite devait être récupéré six mois après sa mise en orbite. Cependant, par suite de retards successifs, puis de la suspension temporaire des vols de navette consécutive à l'explosion en vol de *Challenger,* sa récupération n'est intervenue que le 11 janvier 1990. Cet événement eut lieu lors du 33e vol de navette, quelques semaines seulement avant la rentrée dans l'atmosphère du satellite, qui aurait provoqué sa destruction. Il se trouvait alors à 324 km d'altitude et avait accompli 32 418 révolutions autour de la Terre.

Le Verrier (Urbain-Jean-Joseph), astronome français (Saint-Lô 1811-Paris 1877).
Après sa sortie de l'École polytechnique, il travailla d'abord au laboratoire de chimie de Gay-Lussac, puis obtint un poste de répétiteur de géodésie et d'astronomie, qui l'amena à se consacrer à la mécanique céleste. En 1845, Arago l'incita à tenter de résoudre l'énigme posée par le désaccord entre les positions observées et les positions calculées de la planète Uranus. L'année suivante, il fournit les éléments orbitaux d'une planète hypothétique susceptible de produire sur le mouvement d'Uranus les perturbations observées. Il écrivit à l'astronome berlinois Galle pour lui préciser la position éventuelle de la planète inconnue : le 23 septembre 1846, jour même où la lettre lui parvint, Galle découvrit la planète cherchée, à

l'emplacement prévu. Cette découverte constituait un remarquable succès pour la mécanique céleste et connut un grand retentissement.

Dès janvier 1846, Le Verrier avait été admis à l'Académie des sciences. Sa notoriété lui valut de faire de la politique : en 1849, le département de la Manche l'envoya siéger à l'Assemblée législative. Rallié ensuite au second Empire, il fut nommé sénateur en 1852, puis inspecteur général de l'enseignement supérieur. En 1854, il fut désigné comme directeur de l'Observatoire de Paris - un poste qu'il convoitait - avec les pouvoirs étendus qu'il souhaitait. Son œuvre majeure fut d'élaborer des théories cohérentes aptes à rendre compte des mouvements des planètes. Il organisa aussi de façon sérieuse les observations méridiennes (dotant l'Observatoire d'un grand cercle méridien en 1863) et créa les *Annales de l'Observatoire de Paris.* Il eut enfin le mérite d'organiser le service météorologique, tant en France qu'en Europe : à son initiative, les informations reçues des stations météorologiques furent centralisées et diffusées par télégraphe ; un bulletin quotidien indiquant la pression atmosphérique, la température et la direction du vent relevées dans les stations commença à être publié en 1858 ; un service des avertissements aux ports fut inauguré en 1863 ; le réseau s'étendit à l'étranger ; un réseau d'observation des orages se mit en place, etc.

Cependant, Le Verrier s'aliéna la sympathie des astronomes par son caractère autoritaire et ses manières hautaines. De nombreux incidents avec ses collaborateurs, qu'il considérait comme de simples exécutants, amenèrent finalement le gouvernement à le relever de ses fonctions en 1870. Il retrouva néanmoins son poste trois ans plus tard et, malade, put alors achever paisiblement avant de mourir des *Tables* de Saturne et la théorie du mouvement de Neptune.

Leavitt (Henrietta Swan), astronome américaine (Lancaster, Massachusetts, 1868-Cambridge, *id.,* 1921).

En étudiant à l'observatoire Harvard, en 1912, les céphéides* du Petit Nuage de Magellan, elle montra que la magnitude* absolue de ces étoiles est liée à la période de variation de leur luminosité. Comme il existe une relation simple entre la magnitude apparente et la magnitude absolue, cette découverte fournit une méthode très précieuse pour évaluer la distance des amas stellaires et des galaxies proches par mesures simultanées de la magnitude apparente et de la période des céphéides qu'on y observe.

LEDA (sigle de l'angl. *Lunar European Demonstrator Approach,* démonstrateur européen d'approche lunaire). Projet de mission lunaire automatique envisagé par l'Agence spatiale européenne.

ENCYCL. Ce projet consisterait à déposer au pôle Sud de la Lune (encore très mal connu, mais où les résultats de la mission Clémentine* font suspecter la présence possible de glace) un robot mobile pour y effectuer des analyses d'échantillons du sol lunaire. La mission aurait un intérêt à la fois scientifique et technologique (mise au point d'un véhicule robotisé mobile du type de celui étudié pour l'exploration de Mars). Le lancement serait assuré par une fusée Ariane 5.

Léda. Satellite de Jupiter (n° XIII), découvert en 1974 par l'Américain Charles Kowal.

ENCYCL. Demi-grand axe de son orbite : 11 094 000 km. Période de révolution sidérale : 238,72 j. Diamètre : 10 km environ. Il s'agit vraisemblablement d'un astéroïde capturé par l'attraction de Jupiter. Ses paramètres orbitaux suggèrent une origine commune avec Himalia, Lysithea et Élara.

LEM ou **LM** (abréviation de *Lunar Module,* module lunaire). Véhicule biplace qui permettait aux astronautes du programme Apollo*, après leur satellisation autour de la Lune, de descendre se poser sur l'astre et de regagner leur vaisseau à l'issue de leur mission sur le sol lunaire.

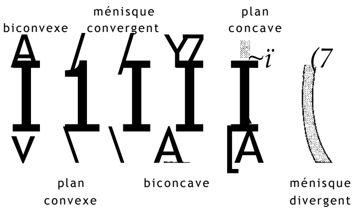
Lemaître (Mgr Georges Henri), astrophysicien et mathématicien belge (Charleroi 1894-Louvain 1966). Prêtre en 1923, professeur à l'université de Louvain, spécialiste des conséquences astronomiques de la relativité et de l'histoire des sciences physiques et mathématiques, il fut le premier à envisager,

en 1927, un univers en expansion, dans le cadre de la théorie de la relativité. Cette hypothèse fut confortée par les découvertes de Hubble*. Il formula alors l'hypothèse dite « de l'atome primitif » (1931), aux termes de laquelle toute la matière de l'Univers aurait été initialement concentrée dans un très petit volume et serait entrée en expansion à la suite d'une gigantesque explosion.

lentille gravitationnelle. Objet céleste massif, tel qu'une galaxie, dont la présence modifie l'apparence d'objets plus lointains situés sur la même ligne de visée.
ENCYCL. La théorie de la relativité* générale prévoit que la lumière doit être affectée lors de la traversée d'un champ de gravitation intense et qu'elle subit, en particulier, des effets de déflexion et d'amplification. Les concentrations de masse dans l'Univers peuvent donc agir comme le font des lentilles sur les rayons lumineux qui les traversent. Ce phénomène est illustré par certains quasars*, découverts depuis 1979, dont on observe plusieurs images *(mirage gravitationnel)*, parce que leur lumière est courbée par le champ gravitationnel de galaxies plus proches situées dans la même direction.

lentille n.f. Pièce optique transparente qui modifie la direction d'un faisceau de lumière qui la traverse *(voir* figure).
ENCYCL. Les lentilles convexes et biconvexes font converger en leur foyer un faisceau de rayons lumineux parallèles, tandis que les lentilles concaves et biconcaves font diverger un tel faisceau. On utilise souvent des combinaisons de plusieurs lentilles pour obtenir des résultats qu'il est impossible d'atteindre avec une seule lentille, par exemple pour confectionner des oculaires* de différents types. Pour éliminer l'aberration* chromatique, on associe deux ou trois lentilles en verres différents. **achromatique**

Diverses formes possibles d'une **lentille** simple



LEO (sigle de *Low Earth Orbit,* orbite terrestre basse). Sigle couramment utilisé pour désigner une orbite terrestre basse (généralement d'altitude inférieure à 1 000 km) par opposition à l'orbite, très haute, des satellites géostationnaires (à 36 000 km). C'est - à l'exception des missions lunaires - le domaine d'évolution de tous les véhicules spatiaux habités : capsules, navettes ou stations.

Léo Minor. Nom latin de la constellation du Petit Lion (abrév. *L Mi).*

Léo. Nom latin de la constellation du Lion (abrév. *Léo).*

Léonides. Essaim de météorites, ou météores associés observables autour des 17-18 novembre, dont le radiant se situe dans la constellation du Lion.
ENCYCL. Associé à la comète périodique 55P/Tempel-Tuttle, cet essaim donne des averses météoriques importantes tous les 33 ans environ. Des pluies spectaculaires d'étoiles filantes ont été observées notamment en 1799,1833,1866,1966 et 1998.

Leonov (Alekseï Arkhipovitch), cosmonaute russe (Listvianka, région de Novossibirsk, 1934).
Lancé dans l'espace à bord du vaisseau Voskhod 2 en compagnie de Pavel Beliaïev, il effectue, le 18 mars 1965, une sortié de 12 min dans le cosmos, en s'éloignant jusqu'à 5 m de la cabine, à laquelle il reste relié par un filin. Il devient ainsi le premier homme ayant effectué une sortie en scaphandre dans l'espace. En juillet 1975, il retourne dans l'espace à l'occasion du vol Apollo-Soyouz, comme commandant de bord du vaisseau Soyouz 19. Il est chargé ensuite de diriger l'entraînement du corps des cosmonautes de l'ex-URSS.

Lep. Abréviation de *Leyus,* désignant la constellation du Lièvre.

Lepaute (Jean André), horloger français (Mogues, Ardennes, 1720-Saint-Cloud 1787 ou 1789).
Il construisit, pour la plupart des observatoires d'Europe, un grand nombre de pendules.

Lepaute (Nicole Reine, née Étable de la Brière) mathématicienne française, épouse de J.A. Lepaute (Paris 1723-Saint-Cloud 1788).
En 1758, avec Lalande, elle aida Clairaut à calculer la date de retour au périhélie de la comète de Halley* en tenant compte pour la première fois des perturbations apportées au mouvement de la comète par l'attraction de Jupiter et de Saturne.

leptonique (ère). Période comprise entre un millionième de seconde et une seconde après le Big* Bang durant laquelle l'Univers aurait été constitué principalement de particules élémentaires légères, telles que l'électron et le neutrino, appelées *leptons.*

Lepus (-oris). Nom latin de la constellation du Lièvre (abrév. *Lep>).*

lettre dominicale. Lettre de l'alphabet, de A à G, affectée à une année et indiquant le jour de la semaine par lequel celle-ci commence. C'est l'un des éléments du comput ecclésiastique. La lettre dominicale de l'année est A si le 1er janvier est un dimanche, B, si c'est un samedi, etc.

lever n.m. **1.** Apparition d'un astre au-dessus de l'horizon. **2.** Instant de cette apparition.

Lexell (comète de). Comète découverte en 1770 par C. Messier, mais à laquelle a été donné le nom du Suédois Anders Lexell (1740-1784) qui en calcula l'orbite.
ENCYCL. Le 1er juillet 1770, la comète de Lexell passa à 2 300 000 km seulement de la Terre (moins de 6 fois la distance Terre-Lune). Aucune autre comète observée ne semble s'être approchée davantage de la Terre, à l'exception peut-être d'une comète observée en Corée en 1491. En 1767 et en 1779, elle s'est approchée de Jupiter et son mouvement a été considérablement perturbé : avant 1767, elle ne s'approchait pas suffisamment du Soleil pour devenir observable depuis la Terre, et il en est de même depuis 1779, ce qui explique qu'on ne l'ait jamais revue.

Lézard (en latin *Lacerta, -ae).* Constellation boréale. Introduite par Hevelius en 1690, elle ne renferme que des étoiles de faible éclat, de magnitude apparente supérieur à 4. L'objet *BL Lacertae,* longtemps considéré comme une étoile variable, est en fait le prototype d'une classe particulière d'objets extragalactiques, les lacertides*.

libération (vitesse de) **vitesse**

libration n.f. (du latin *libration, -onis,* de *librare,* balancer). 1. Léger balancement du globe lunaire autour de son axe, que l'on perçoit depuis la Terre.
ENCYCL. Bien que sa rotation sur elle-même et sa révolution autour de la Terre aient la même durée moyenne, la Lune ne montre pas toujours exactement le même hémisphère vers notre planète.
On peut, en fait, observer de la Terre seulement 59 % de sa surface. Cela tient, pour l'essentiel, à un ensemble de phénomènes cinématiques d'où résulte, pour un observateur terrestre, un balancement apparent du globe lunaire au cours d'une lunaison (libration apparente) et cela tient, accessoirement, à une oscillation effective de la Lune (libration physique) autour d'une position moyenne, due à la forme non sphérique de l'astre.

La libration apparente a plusieurs composantes :

- une libration en latitude, provenant de ce que l'axe de rotation de la Lune n'est pas perpendiculaire au plan de son orbite ;
- une libration en longitude, due au fait que l'orbite lunaire n'est pas circulaire et, donc, parcourue par la Lune à une vitesse variable (alors que sa vitesse de rotation autour de son axe est constante) ;
- une libration diurne, due à la rotation de la Terre sur elle-même, qui se traduit par une légère modification de l'orientation de la Lune entre son lever et son coucher.

2. Oscillation d'un astre autour d'une position moyenne. Le terme s'emploie, en particulier, pour désigner l'oscillation des plané-

tes troyennes* autour des points de Lagrange de l'orbite de Jupiter.

Lick (observatoire). Observatoire américain, appartenant à l'université de Californie, sur le mont Hamilton, à 80 km au sud-est de San Francisco, à 1 280 m environ d'altitude.
ENCYCL. Sa construction, achevée en 1888, a été financée par le mécène américain James Lick (1796-1876). Il fut équipé, dès l'origine, d'une grande lunette* de 91 cm d'ouverture et de 17,6 m de focale : celle-ci était, à l'époque, la plus grande du monde, et elle n'a été supplantée que par celle de l'observatoire Yerkes. Aujourd'hui, son principal instrument est le télescope Shane, de 3 m de diamètre, en service depuis 1959.

Licorne (en latin*Monoœros, -otis).* Constellation équatoriale. Introduite en 1624 par l'astronome danois S. Bartsch, gendre de Kepler.
ENCYCL. Elle ne renferme que des étoiles de faible éclat, mais, traversée par la Voie lactée, elle est riche en nébuleuses et en amas stellaires.
On y observe, notamment, la nébuleuse Rosette*, celle de la Quille (ou du Cône*) et celle de Hubble*, qui enveloppe l'étoile variable *R Mon.* L'étoile *S Mon* constitue une autre curiosité : c'est une géante bleue, de type spectral O, 8 500 fois plus lumineuse que le Soleil. Avec un télescope d'amateur, on la découvre flanquée de deux compagnons : l'un de magnitude 7,5, l'autre de magnitude 9. Deux autres astres, d'éclat plus faible pour être aisément distingués, complètent ce système multiple, situé à 2 600 al.

lidar (abréviation de l'angl. *LIght Détection And Ranging,* détection et mesure de distance par la lumière) n.m. Dispositif analogue au radar, fonctionnant dans le domaine optique.
ENCYCL. Le lidar est utilisé depuis la fin des années 70 pour le sondage à distance de l'atmosphère. Il est bien adapté à la mesure précise de l'altitude des nuages, au sondage des profils en altitude des constituants de l'atmosphère et à la mesure de la vitesse du vent à différentes altitudes (en utilisant l'effet Doppler de l'écho des aérosols atmosphériques). Les impulsions optiques envoyées et dont on observe le signal rétrodiffusé par l'atmosphère sont émises par un laser. Le lidar LITE a été embarqué sur la navette en 1994.

Lièvre (en latin *Lepus, -oris).* Constellation australe, au sud d'Orion.
ENCYCL. C'est l'une des 48 constellations qui étaient connues dans l'Antiquité grecque. Son étoile la plus brillante, *a Lep* (ou *Arneb),* a une magnitude apparente de 2,6.

LIGO (sigle de l'angl. *Laser Interferometer Gravitationnal- waves Observatory,* interféromètre laser observatoire d'ondes gravitationnelles). Détecteur américain d'ondes* gravitationnelles qui, lorsqu'il sera complet, associera deux antennes interférométriques dotées chacune de deux bras perpendiculaires de 4 km de long. La première est en voie d'achèvement à Hanford, dans l'État de Washington ; la seconde est en construction à Livingstone, en Louisiane.

limbe n.m. 1. Bord lumineux d'un astre du système solaire. **2.** Partie extérieure d'un cercle divisé, portant les graduations.

Lindblad (Bertil), astronome suédois (Orebro 1895 - Stockholm 1965).
Auteur de nombreuses publications sur le rayonnement et le spectre du Soleil et des étoiles, les distances et le mouvement des astres, il détermina en 1927, en même temps que J. Oort*, les principales caractéristiques du mouvement de rotation de la Galaxie.

Linné. Petit cratère lunaire, dans la mer de la Sérénité.
ENCYCL. Coordonnées : 28° N., 12° E. Diamètre : 2,4 km. Malgré sa petite taille, ce cratère ne passe pas inaperçu, car il est entouré d'un matériau clair (sans doute une couronne d'éjecta*) et, lorsqu'il est éclairé verticalement par le Soleil, il se distingue comme une tache blanche et brillante.

Lion (en latin *Léo, -nis).* Constellation du zodiaque, entre le Cancer (à l'ouest) et la Vierge (à l'est).
ENCYCL. Ses principales étoiles dessinent assez exactement la silhouette d'un lion assis,

les deux plus brillantes, Régulus* et Denebola*, marquant respectivement le cœur et la queue de l'animal, renferme de nombreuses galaxies, dont les plus brillantes sont accessibles à des instruments d'amateur d'au moins 80 à 100 mm d'ouverture.

Lion (Petit) [en latin *Leo(-nis) Minor (-oris)]*. Constellation boréale. Introduite par Hevelius vers 1660, elle ne renferme que des étoiles de faible éclat, dont les plus brillantes ont une magnitude apparente voisine de 4. Mais sa situation dans le ciel, à l'écart de la Voie lactée, permet d'y apercevoir, avec des télescopes assez puissants, de nombreuses galaxies.

Lion givré (nébuleuse du). Nébuleuse enveloppant une étoile fortement évoluée de la constellation du Lion et constituant une source de rayonnement infrarouge détectée par le satellite IRAS.
ENCYCL. Cette nébuleuse doit son nom au fait qu'on y a détecté, dans l'infrarouge, la présence de glace. Elle enveloppe une étoile géante rouge qui a éjecté de la matière et va probablement engendrer une nébuleuse planétaire. De forme sphérique, légèrement allongée, elle est partagée en deux par un disque qui renferme environ 1/10 de la matière éjectée par l'étoile, soit environ 0,002 fois la masse du Soleil. Cette source infrarouge est cataloguée sous le matricule IRAS 09371 + 1212.

U S A (sigle de *Laser Interferometer Space Antenna,* interféromètre laser à antenne spatiale). Projet de mission spatiale européenne destinée à la détection des ondes gravitationnelles à des fréquences comprises entre 0,0001 et 0,1 Hz.
ENCYCL. Envisagée comme l'une des pierres angulaires du programme Horizon* 2000 Plus, cette mission comporterait trois satellites identiques disposés aux sommets d'un triangle de 5 millions de kilomètres de côté incliné de 60° sur le plan de l'orbite terrestre, et reliés mutuellement par des faisceaux laser infrarouges. L'ensemble formerait un interféromètre à très longue base permettant de détecter les ondes gravitationnelles émises par des étoiles doubles de notre galaxie ou des trous noirs massifs extragalactiques, grâce aux petites fluctuations de distance entre les satellites provoquées par ces ondes.

LLV -> Athena

localisation n.f. Obtention, en un centre de contrôle, des coordonnées d'un mobile.
ENCYCL. Selon les cas, cette localisation est faite en temps réel ou en différé. Pendant sa brève existence, tout lanceur de satellite est localisé par divers instruments (radars, caméras...) qui réalisent des mesures d'angles et de distances, **-f trajectographie**
Ensuite, tout satellite fait l'objet d'une surveillance par un réseau de stations de poursuite qui le localise régulièrement (souvent à quelques centaines de mètres - plus difficilement à quelques dizaines de mètres - près). Un système comme DORIS permet une précision de localisation de quelques centimètres.

Certains systèmes spatiaux offrent (à des fins de surveillance) un service de localisation (parfois associé, comme pour Argos, à un service de collecte de données) : ils captent les signaux radioélectriques diffusés par un émetteur et les retransmettent, loin de là, à un centre de traitement qui les analyse et détermine la position de l'émetteur.
À distinguer du service de radionavigation, dans lequel le véhicule à localiser est uniquement récepteur de signaux radioélectriques (que diffusent des satellites) et calcule, par ses propres moyens, sa position en vue de son déplacement ultérieur.

Lockheed Martin Corporation. Groupe aérospatial américain issu de la fusion des firmes Lockheed Corp. et Martin Marietta Corp.
ENCYCL. Effectif depuis le 15 mars 1995, le rapprochement de Lockheed et de Martin Marietta a donné naissance à un nouveau groupe, employant 170 000 personnes environ et réalisant environ 23 milliards de dollars de chiffre d'affaires, dont les activités se concentrent dans quatre secteurs principaux : l'espace et les missiles, l'aéronautique, l'électronique, l'information et la technologie. Les satellites représentent 55 % de son activité spatiale.
Le siège du groupe se trouve à Bethesda

(Maryland), où Martin Marietta avait déjà son siège.

Lockyer (sir Joseph Norman), astronome anglais (Rugby, Warwickshire, 1836-Salcombe Régis, Devon, 1920). Spécialiste de la spectroscopie solaire, il imagina, indépendamment de J. Janssen*, une méthode pour l'observation des protubérances solaires en dehors des éclipses. Il découvrit la chromosphère et, en 1868, dans le spectre des protubérances, une raie spectrale qu'il attribua à un nouvel élément, alors inconnu sur la Terre, pour lequel il proposa le nom d'« hélium », et qui fut isolé seulement en 1895. Il fut aussi l'un des premiers à s'intéresser à l'évolution des étoiles et le fondateur de la revue scientifique *Nature* (1869). Enfin, il s'intéressa à l'orientation astronomique des mégalithes et des pyramides antiques, fondant ainsi l'archéoastronomie*.

longitude n.f. (du latin *longitudo, -inis,* longueur). Dans un système de coordonnées sphériques, distance angulaire de la projection d'un point sur le plan fondamental, comptée à partir d'une direction origine, en principe de 0 à 360°, parfois de 0 à ± 180°. Sur la Terre, les longitudes sont comptées à partir du méridien de Greenwich, de 0 à ± 180°, positivement vers l'ouest, négativement vers l'est.

Longue Marche (en chinois *Chang-Zheng),* famille de lanceurs chinois, également désignés par les initiales CZ.

ENCYCL. Étudiés dès les années 1950, avec l'aide de l'URSS, à partir de missiles balistiques, ces lanceurs ont subi des améliorations régulières. Au cours du temps, quatre générations - composées de plusieurs versions - ont vu le jour et permis à la Chine de franchir des étapes importantes :

- 24 avril 1970 : grâce à son premier lanceur, CZ-1, la Chine met en orbite son premier satellite artificiel et devient puissance spatiale. Ce lanceur, aujourd'hui abandonné, était composé de deux étages à ergols liquides et d'un troisième à poudre. Haut de 28 m, pesant 80 t au décollage, il pouvait satelliser 300 kg en orbite basse.
- 26 novembre 1975 : lancement de la première capsule récupérable chinoise au moyen du lanceur CZ-2C, toujours en service. Hauteur : 35 m, masse au décollage : 1911, capacité en orbite basse : 1,81, propulsion : deux étages à ergols liquides.
- 8 avril 1984 : lancement du premier satellite géostationnaire chinois au moyen du lanceur CZ-3, toujours opérationnel. Hauteur : 45 m, masse au décollage : 202 t, capacité : plus de 4 t en orbite basse et 1,5 t en orbite de transfert géostationnaire, propulsion : deux étages à ergols liquides, un troisième à propulsion cryotechnique.
- 6 septembre 1988 : lancement du premier satellite héliosynchrone chinois au moyen du lanceur CZ-4, toujours en service. Hauteur : 42 m, masse au décollage : 249 t, capacité : 2,5 t en orbite héliosynchrone, propulsion : trois étages à ergols liquides stockables.

En 1999, une dizaine de versions (améliorées par rapport aux configurations de base) sont opérationnelles (CZ-2C, 3, 4, 2E, 2D, 3A, 3B), en développement (CZ-1D, 3C,...) ou à l'étude (CZ-4B,...).

La version la plus puissante, CZ-3B, opérationnelle depuis août 1997, peut placer 13 t en orbite basse et 4,8 t en orbite de transfert géostationnaire. Haute de 55 m, pesant 425 t au décollage, elle comprend deux étages et quatre propulseurs d'appoint à ergols liquides stockables (UDMH et tétraoxyde d'azote), et un troisième étage cryotechnique (hydrogène et oxygène liquides).

Grâce à l'ensemble de ces lanceurs, la Chine a pu, en une trentaine d'années, placer en orbite une cinquantaine de satellites dont certains étrangers.

En octobre 1985, le gouvernement chinois annonçait la commercialisation de certains de ses lanceurs. Le premier lancement commercial a eu lieu le 8 avril 1990 : un CZ-3 a mis sur orbite le satellite de télécommunications d'un consortium asiatique, AsiaSat 1, le premier satellite « d'occasion » de l'histoire spatiale (puisque lancé une première fois sous le nom de Westar 6 en février 1984, puis récupéré en orbite et ramené au sol par la navette américaine en novembre 1984).

Depuis cette date, la Chine a entrepris diverses satellisations pour des pays étrangers (Aussat/ Optus, Echostar, Intelsat 7, Iridium, etc.) mais avec un taux élevé d'échecs.

Loup (en latin *Lupus, -î).* Constellation australe.

ENCYCL. Elle figurait déjà parmi les 48 constellations citées par Ptolémée. Sa plus brillante étoile est de magnitude apparente 2,3. En l'an 100b, une supernova* plus brillante que Vénus y apparut; elle demeura visible à l'œil nu plus de deux ans et fut observée en Europe, en Égypte, en Chine et au Japon. Une radiosource découverte en 1965, une faible source de rayonnement X et un réseau ténu de filaments gazeux identifiés en 1976 en seraient les vestiges.

Lowell (Percival), astronome américain (Boston 1855-Flagstaff, Arizona, 1916).
H se consacra surtout à l'étude de la planète Mars. En vue de confirmer l'hypothèse de l'existence de canaux à la surface de cet astre, il fonda à ses frais, en 1894, un observatoire dans les environs de Flagstaff. En perfectionnant la méthode utilisée par U. Le Verrier* qui aboutit à la découverte de Neptune, il fut conduit à envisager la présence d'une planète transneptunienne, et, en 1915, il indiqua l'orbite probable de cette nouvelle planète, ainsi que la région du ciel où elle devait se trouver. Le 13 mars 1930, Clyde William Tombaugh découvrit, à Flagstaff, la planète Pluton, à six degrés de la position prévue par Lowell.

LRBA —» Laboratoire* de recherches balistiques et aérodynamiques

Lucid (Shannon W.), chimiste et astronaute américaine (Shangai 1943).
Devenue astronaute de la NASA en 1979, elle participa à cinq missions de la navette américaine en 1985, 1989, 1991, 1993 et 1996. Pour ce dernier vol, elle quitta la Terre le 22 mars et fut la première Américaine accueillie dans la station Mir : elle y séjourna 188 jours (retour le 26 septembre) ce qui constitue le record féminin de durée à bord de la station.
Avec un total de 223 jours, elle détient - pour les femmes et pour les étrangers à la Russie - le record du plus long séjour dans l'espace.

Lucien de Samosate, écrivain et philosophe grec (Samosate, Syrie, v. 125 - v. 192). Son *Histoire vraie* et son *Icaro-Menippos* constituent les deux premiers récits de fiction astronautique qui nous soient parvenus, sur le thème du voyage vers la Lune.

lumière cendrée. Lumière faible dont brille la partie de la Lune qui n'est pas éclairée par le Soleil. Elle résulte de l'éclairement de la Lune par la Terre, elle-même illuminée par le Soleil.

lumière zodiacale **zodiacal**

luminosité n.f. Puissance totale rayonnée par un astre sur tout le spectre électromagnétique et dans toutes les directions.

Luna. Sondes spatiales automatiques soviétiques qui étaient destinées à l'exploration de la Lune ; 24 ont été lancées, de 1959 à 1976.

ENCYCL. Les sondes de première génération avaient une masse d'environ 400 kg et furent lancées en 1959. Luna 1, lancée le 2 janvier 1959, fut le premier objet spatial à frôler la Lune, à une distance de 6 500 km, avant de se satelliser autour du Soleil. Luna 2, lancée le 12 septembre 1959, mit à son actif le premier impact sur la Lune. Luna 3, lancée le 4 octobre 1959, obtint et retransmit les premières images de la face cachée de la Lune. Les sondes de deuxième génération avaient une masse voisine de 1 500 kg sur le trajet Terre-Lune et avaient pour but le dépôt en douceur de laboratoires sur la surface lunaire et la mise de satellites sur orbites sélénocentriques. Luna 4 fut lancée en 1963 pour tester la technique du lancement en deux temps vers la Lune. Les sondes Luna 5, 6, 7 et 8 tentèrent ensuite en 1965 de réussir un atterrissage en douceur sur la Lune, mais toutes échouèrent. Le succès vint, enfin, le 3 février 1966 avec Luna 9, qui se posa sur l'océan des Tempêtes et fonctionna pendant 3 jours sur la Lune en retransmettant les premières images rapprochées du sol. Un second succès fut obtenu en décembre 1966 avec Luna 13, mais, entre-temps, les Soviétiques inscrivirent à leur actif une autre « première » : la mise sur orbite d'un satellite lunaire, avec Luna 10, le 3 avril 1966. Les sondes Luna 11 et 12 furent

satellisées autour de la Lune en 1966, de même que Luna 14 en 1968, qui mit un terme à ces expériences.
Les sondes de troisième génération avaient une masse d'environ 5 t sur la trajectoire Terre-Lune. La première, Luna 15, fut lancée le 13 juillet 1969, 3 jours seulement avant le début de la mission pilotée américaine Apollo 11. Mais l'atterrissage sur la Lune en deux temps qu'elle tenta le 20 juillet 1969 fut un échec. Il fut en revanche mené à bien par Luna 16 en septembre 1970. Puis, en novembre 1970, Luna 17 déposa sur la Lune le premier véhicule explorateur automatique, Lunokhod* 1, qui fonctionna 11 mois dans la mer des Pluies. Luna 18 connut l'échec en septembre 1971 dans une mission de prélèvement d'échantillons dans une zone montagneuse, qui fut reprise avec succès par Luna 20 en février 1972. Entre-temps, Luna 19 se plaça sur orbite lunaire en octobre 1971. Luna 21 déposa en janvier 1973 Lunokhod 2 en bordure de la mer de la Sérénité, où il fonctionna près de 4 mois. Luna 22 se plaça sur orbite lunaire en mai 1974, cependant que Luna 23 échoua en octobre 1974 dans une tentative de prélèvement de sol, réalisée avec succès par Luna 24 en août 1976.

lunaire adj. Relatif à la Lune. *Année lunaire :* période de douze mois lunaires. *Mois lunaire :* synonyme de lunaison.

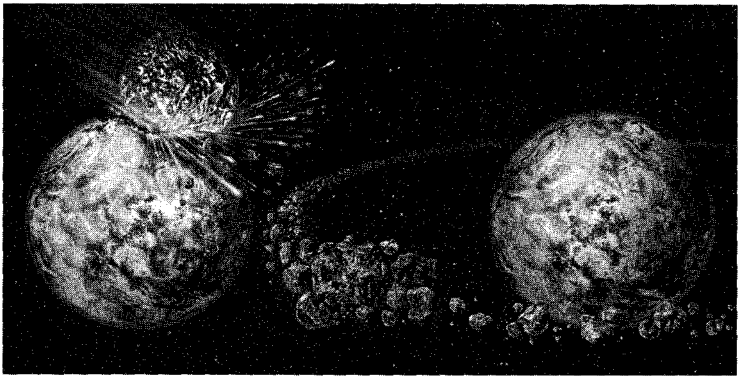
lunaison n.f. Intervalle de temps compris entre deux nouvelles lunes consécutives, dont la durée moyenne est de 29 j 12 h 44 min 2,9 s, avec des fluctuations pouvant atteindre 13 h de part et d'autre de cette valeur, **SYN :** *mois lunaire*

Lunakhod (ou **Lunokhod).** Nom de deux véhicules automatiques soviétiques déposés à la surface de la Lune par des sondes Luna pour y effectuer des prises de vues et des recherches scientifiques en se déplaçant à des distances importantes de leur point d'atterrissage.
ENCYCL. Les Lunokhod étaient des véhicules à huit roues, de 2,2 m de long sur 1,6 m de large, munis de caméras de télévision, de dispositifs de prélèvement d'échantillons, d'analyse de la composition chimique et des propriétés physico-mécaniques du sol lunaire, ainsi que d'un réflecteur laser* (fabriqué en France) pour des mesures de la distance Terre-Lune.
Lunokhod 1 pesait 756 kg. Déposé dans la mer des Pluies par Luna 17 le 17 novembre 1970, il a fonctionné jusqu'au 4 octobre 1971, parcourant durant ce temps 10 540 m sous contrôle télécommandé, procédant à l'étude des propriétés physico-mécaniques du sol lunaire en 500 points, à l'analyse de sa composition chimique en 25 points et transmettant à la Terre 210 vues panoramiques et plus de 20 000 clichés de la surface lunaire.
Lunokhod 2, version améliorée du véhicule précédent (avec, notamment, une caméra de télévision supplémentaire), pesait 840 kg. Déposé par Luna 21 à l'intérieur du cratère Le Monnier, près du bord est de la mer de la Sérénité, le 16 janvier 1973, il fonctionna jusqu'en mai 1973, parcourut 37 km, effectua plusieurs centaines de tests mécaniques et chimiques du sol et prit 8 000 clichés et 86 photographies panoramiques.

Lunar A. Sonde japonaise d'étude de la Lune.
ENCYCL. Son lancement est attendu en 1999. Satellisée autour de la Lune, elle larguera vers le sol lunaire trois pénétrateurs de 13 kg qui s'enfonceront jusqu'à une profondeur de 30 cm. Les mini-séismes ainsi créés seront enregistrés par la sonde restée en orbite.

Lunar Orbiter. Sondes lunaires automatiques américaines lancées en *1966-1967* et destinées à la photographie détaillée de la Lune, dans le but de permettre la sélection des sites d'atterrissage du programme Apollo.
ENCYCL. D'une masse proche de 400 kg, lancés par des fusées Atlas-Agena B, les engins Lunar Orbiter étaient équipés d'un système de prise, de développement et de transmission de photographies très performant, permettant d'obtenir une résolution de 1 m sur des clichés pris depuis 40 km d'altitude. Ils évoluaient typiquement sur des orbites sélénocentriques dont la distance à la surface lunaire variait entre 40 et 1 850 km. Le premier Lunar Orbiter fut lancé le 10 août 1966 et quatre autres engins du même type partirent dans les 12 mois suivants. Les cinq mis-

Formation de la Lune



sions furent des succès complets, aboutissant chacune à la transmission d'environ 200 clichés. Les photographies des Lunar Orbiter sont à la base des atlas détaillés de la totalité de la surface lunaire.

Lunar Prospector. Satellite américain d'étude de la Lune.
ENCYCL. Premier engin construit dans le cadre du programme Discovery de la NASA, ce satellite de 295 kg a été lancé le 6 janvier 1998 et s'est placé cinq jours plus tard en orbite autour de la Lune. Le 15 janvier, il s'est stabilisé sur une orbite circulaire à 100 km d'altitude pour étudier les caractéristiques magnétiques, gravifiques et chimiques de l'astre. Le résultat le plus spectaculaire, obtenu grâce à l'étude spectrométrique de la surface, a été la confirmation de ce que semblaient révéler certains échos radar reçus par la sonde Clémentine*, à savoir la présence de glace au fond de cratères situés aux pôles et qui ne sont jamais éclairés par le Soleil (Peary, Hermite, Rozhdestvenskii et Plaskett au pôle Nord, Aitken au pôle Sud). Selon certaines estimations, la quantité de glace présente serait voisine de *6* milliards de tonnes. À partir de décembre 1998, le satellite s'est progressivement rapproché de la surface lunaire (jusqu'à 15 km seulement), pour effectuer des mesures à plus haute résolution. Sa chute volontaire sur le pôle Sud de la lune, en juillet 1999, devait permettre d'y vérifier la présence d'eau.

Lune. Satellite naturel de la Terre.
ENCYCL. La Lune a fait, dès la plus haute Antiquité, l'objet d'études attentives. Les Grecs parvinrent, avant notre ère, à évaluer ses dimensions, sa distance et à établir les lois de son mouvement apparent.
L'invention de la lunette, à l'aube du XVIIe siècle, ouvrit une ère fructueuse pour l'étude de sa surface et de ses particularités physiques. Enfin, à l'ère spatiale, l'homme en a entrepris l'exploration directe. Compte tenu de sa proximité, la Lune a été le premier objectif de l'exploration planétaire. Pour des raisons politiques, l'ex-URSS et les États-Unis se sont livrés à une compétition acharnée, au cours des années *60,* pour y envoyer le premier équipage de spationautes. Cette compétition a finalement tourné à l'avantage des États-Unis. L'exploration lunaire s'est effectuée du côté soviétique à l'aide du programme de sondes automatiques Luna* et de certains engins Zond* qui ont contourné la Lune en l'étudiant et en la photographiant ; et, du côté américain, à l'aide des programmes de sondes automatiques Ranger*, Surveyor* et Lunar* Orbiter, puis du programme de vols habités Apollo*.
MOUVEMENTS DE LA LUNE. En première approximation, on peut considérer que la Lune obéit aux lois de Kepler et qu'elle gravite autour de la Terre en décrivant, en 27 j 7 h 43 min environ, une orbite elliptique, inclinée de 5° 9' sur l'écliptique, dont le demi-grand axe vaut 384 400 km et l'excentricité

CARACTÉRISTIQUES ORBITALES DE LA LUNE

Demi-grand axe de l'orbite	384 400 km (60,266 59 rayons terrestres équatoriaux)
Excentricité moyenne de l'orbite	0,054 9
Distance minimale au périgée	356375 km
Distance maximale à l'apogée	406 720 km
Inclinaison moyenne de l'orbite sur l'écliptique	5,145 3°
Inclinaison moyenne de l'équateur lunaire sur l'écliptique	1°32'32,7"
Inclinaison de l'équateur lunaire sur l'orbite	6°41'
Période de révolution :	
- *sidérale* (retour à la même position dans le ciel par rapport aux étoiles)	27,321 660 9 j, soit 27 j 7 h 43 min 11,5 s
- *synodique* (retour à la même position par rapport au Soleil = lunaison)	29,530 588 1 j, soit 29 j 12 h 44 min 2,9 s
- *tropique* (retour à la même position par rapport au point vernal)	27,321 581 6 j, soit 27 j 7 h 43 min 4,7 s
- *anomalistique* (retour au périgée)	27,554 550 2 j, soit 27 j 13 h 18 min 33,1 s
- *draconitique* (retour au nœud ascendant)	27,212 217 8 j, soit 27 j 5 h 5 min 35,8 s
Période de rotation sidérale	rigoureusement égale à la période de révolution sidérale
Libration :	
- *en latitude*	6,8°
- *en longitude*	7,7°
- *diurne*	**1,0°**

0,054 9. Mais ces valeurs ne sont que des valeurs moyennes, compte tenu des nombreuses inégalités qui affectent l'orbite de la Lune.

À ces variations s'ajoutent un grand nombre d'inégalités dans le mouvement de la Lune dues aux influences du Soleil ou aux configurations du système Soleil-Terre-Lune. Les plus importantes sont ce qu'on appelle l'*évection** et la *variation**. On observe aussi une très lente accélération séculaire du mouvement de la Lune, due principalement à un ralentissement de la rotation de la Terre autour de son axe sous l'effet des marées*, qui produit une augmentation de la longueur du jour. De ce fait, la Lune s'éloigne actuellement de la Terre d'environ 2 m par siècle.

Comme tous les astres, la Lune tourne sur elle-même, mais cette rotation s'accomplit exactement dans le même temps et le même sens que la révolution sidérale, ce qui vaut à la Lune de tourner toujours la même face vers la Terre. Ce synchronisme résulte de la forme non sphérique du globe lunaire : l'hémisphère lunaire qui fait face à la Terre est légèrement aplati, et l'hémisphère opposé légèrement surélevé par rapport au rayon moyen (1 738 km), l'écart n'étant toutefois que de 4 km environ. Le grand axe s'est orienté jadis dans la direction de la Terre, suivant un processus de stabilisation bien connu et utilisé pour la mise en place de certains satellites artificiels (stabilisation « par gradient de gravité »), et c'est autour de l'axe le plus court que s'effectue la rotation.

PRINCIPALES FORMATIONS DU RELIEF LUNAIRE. Observée à l'œil nu, la surface de la Lune apparaît parsemée de taches sombres. Celles-ci correspondent à de vastes plaines, légèrement déprimées, plus ou moins ondulées et bordées de montagnes. Appelées *mers* par les premiers observateurs, qui avaient cru y voir

CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES DE LA LUNE

Diamètre moyen	3 476 km (0,272 5 fois le diamètre équatorial de la Terre)
Diamètre apparent :	
- *minimal*	29' 22"
- *maximal*	33' 29"
Masse	$73,4.10^{21}$ kg 0,012 3 fois celle de la Terre)
Volume	22.19^{9} km^{3} (0,020 3 fois celui de la Terre)
Densité moyenne	3,34 (eau = 1)
Albédo géométrique	0,12
Pesanteur à l'équateur	1,627 m/s^{2} (0,166 fois celle de la Terre)
Vitesse de libération	2,37 km/s (8 550 km/h)
Magnitude visuelle	-12,7
Température à la surface	+ 117 °C à - 173 °C
Pression atmosphérique moyenne à la surface	~ $10^{"11}$ torr
Intensité du champ magnétique à la surface	6 à 313 γ

des étendues d'eau liquide, elles conservent de nos jours cette dénomination. Certaines possèdent une forme circulaire ou ovale bien délimitée (mer des Crises, mer de la Sérénité, etc.) ; d'autres, au contraire, présentent un contour irrégulier (océan des Tempêtes, mer des Pluies, etc.) et se ramifient en golfes, caps, lacs ou marais. On en dénombre 22 sur l'ensemble de la Lune, mais la face arrière de l'astre n'en compte qu'une minorité - la principale étant la mer de Moscou, révélée pour la première fois en 1959 par les clichés de Luna 3 -, de sorte que **la** plupart sont visibles de la Terre, certaines en partie seulement (mer Australe, mer Marginale, mer Orientale, mer de Smyth). Cette dissymétrie tient sans doute à la différence d'épaisseur de l'écorce entre les deux hémisphères lunaires.

On appelle *continents* les régions claires de la surface lunaire. Ce sont des zones extrême**ment** accidentées, saturées de cratères. Les formations montagneuses, parfois groupées **en** véritables chaînes, y sont nombreuses, particulièrement en bordure des mers. Cer**tains** sommets atteignent des altitudes éle**vées,** le record étant détenu par les monts **Leibniz,** près du pôle Sud, qui culminent à 8 200 m au-dessus des régions environnan**tes** (on ne dispose pas sur la Lune, pour la **mesure** des altitudes et des profondeurs, **d'un** niveau général de référence compara**ble** au niveau moyen des mers utilisé sur la Terre). Les montagnes lunaires s'apparentent aux massifs terrestres anciens : dépourvues de pics et d'aiguilles, elles présentent toujours des sommets arrondis et des formes douces.

Les formations les plus caractéristiques du relief lunaire sont des dépressions circulaires ou polygonales, creusées par des impacts de météorites : les cratères ou cirques (ce dernier terme désignant plus particulièrement les cratères les plus vastes, bordés de remparts montagneux). Les plus grands dépassent 200 km de diamètre, mais les plus petits discernables de la Terre n'excèdent pas 1 km, et l'exploration spatiale en a révélé une multitude dont les dimensions s'expriment en mètres, voire en centimètres. L'astronome Julius Schmidt, au XIXe siècle, en dénombra plus de 30 000, mais l'on estime aujourd'hui que la seule face visible de la Lune en renferme environ dix fois plus dont le diamètre dépasse 1 km.

Outre des cratères, on observe à la surface des « mers » lunaires des crevasses, appelées aussi *rainures,* des vallées, des falaises et des pitons rocheux isolés.

LE SOL LUNAIRE. Le sol de la Lune apparaît jonché de pierres plus ou moins enfoncées dans une couche de poussière, épaisse, selon les endroits, de quelques millimètres à une quinzaine de centimètres. Il est, par ailleurs, criblé de microcratères creusés par l'impact de micrométéorites. Sa couleur varie sui-

vant l'angle d'éclairement, passant du gris cendré, lorsqu'il est éclairé à contre-jour, au brun chocolat, lorsqu'il reçoit perpendiculairement les rayons du Soleil.
Sous le tapis de poussière s'étend une couche de roches brisées, le régolithe (ou régolite), dont l'épaisseur varie entre 2 et 20 m suivant les régions et dont la compacité, très faible en surface, augmente avec la profondeur.

Les six missions Apollo* qui comportèrent un atterrissage sur la Lune ont permis de récolter 2 196 échantillons de roches lunaires, représentant une masse totale de 382 kg. Il faut y ajouter quelques échantillons prélevés par carottage et rapportés sur la Terre par des engins automatiques soviétiques Luna*.

Comme sur la Terre, l'oxygène est l'élément le plus abondant des roches lunaires (38 %, sous forme d'oxydes). L'ordre d'abondance décroissant des éléments est en gros le même sur les deux astres, mais avec des écarts significatifs. Comparée à la croûte terrestre, celle de la Lune apparaît plus pauvre en éléments volatils, comme le carbone et l'oxygène, en sidérophiles (sauf le fer lui-même), comme le cobalt et l'argent, et aussi en potassium, sodium, silicium, rubidium, scandium et europium. Elle est, en revanche, plus riche en calcium, titane magnésium, fer et terres rares.
Les minéraux les plus abondants sont des silicates, comme sur la Terre.
Alors que les roches terrestres se caractérisent par leur extrême diversité, celles de la surface lunaire ne se répartissent pratiquement qu'en deux types : les anorthoses, très abondantes dans les régions montagneuses, et les basaltes, qui emplissent les « mers ». Lors d'impacts de météorites, certaines ont été cassées ; leurs débris, projetés dans l'espace, puis retombés pêle-mêle au sol, se retrouvent sous forme de brèches, agglomérats plus ou moins friables de petits fragments rocheux cimentés par des matrices vitreuses, dont la composition est voisine de celle de la poussière.

ACTIVITÉ SISMIQUE. Grâce au réseau de sismomètres mis en place lors des missions Apollo, on a pu procéder à une étude approfondie de la sismicité de la Lune. D'une façon générale, l'astre apparaît tectoniquement très calme. Les secousses (quelque 3 000 par an) qui l'affectent ont une intensité très faible : aucune n'a dépassé la magnitude 3 sur l'échelle de Richter.
L'une des caractéristiques les plus remarquables des séismes lunaires est la profondeur à laquelle ils surviennent. La majorité des foyers se situe à une profondeur allant de 700 à 1 100 km.

STRUCTURE INTERNE. L'existence d'un noyau ferreux au centre de la Lune reste controversée. Toutefois, les données gravifiques transmises par le satellite Lunar Prospector* renforcent cette hypothèse : le diamètre de ce noyau serait compris entre 600 km (s'il est formé principalement de fer) et 1 000 km (s'il est formé surtout de sulfure de fer).

TEMPÉRATURE. La quasi-absence d'atmosphère entraîne une amplitude thermique considérable, pouvant atteindre 100 °C en un point donné de la surface entre le jour et la nuit, contre quelques dizaines de degrés seulement sur la Terre. On a relevé + 117 °C au maximum le jour et - 173 °C au minimum la nuit.

CHAMP MAGNÉTIQUE. La particularité la plus remarquable du champ magnétique de la Lune est d'être extrêmement variable d'un lieu à un autre en intensité et en direction. Les magnétomètres déposés sur le sol lunaire lors des missions Apollo ont enregistré des intensités allant de 6 à 313 γ. Toutefois, un bon nombre de roches rapportées par les astronautes, datant toutes d'au moins 3 milliards d'années, présentent une aimantation bien plus forte, exigeant qu'un champ de plus de 3 000 γ ait régné sur la Lune à l'époque où elles se solidifièrent. Les observations du satellite Lunar Prospector, ont confirmé l'existence d'un champ magnétique rémanent aux antipodes des grands bassins d'impact, ce qui suggère un lien entre ce magnétisme et les impacts violents qui ont creusé ces bassins.

ORIGINE ET ÉVOLUTION. La Lune s'est formée en même temps que la Terre et les autres astres du système solaire, il y a 4,6 milliards d'années. Peu après, elle se liquéfia au moins sur 200 km de profondeur, et ses divers matériaux constitutifs se répartirent du centre vers la surface par ordre de densités croissantes. À peine solidifiée, sa croûte se trouva bombardée de façon intense par d'énormes

météorites, abondantes à l'époque dans l'espace interplanétaire, qui y creusèrent de grands bassins et provoquèrent une fusion des roches. Cette ère cataclysmique s'acheva il y a 3,9 milliards d'années.

La Lune connut ensuite, pendant 800 millions d'années, une grande activité interne. Celle-ci provoqua une seconde fusion en profondeur et la formation de laves basaltiques, qui remontèrent et s'épanchèrent à la surface, remplissant les bassins pour constituer le fond des mers tel qu'on l'observe aujourd'hui.

Depuis quelque 3 milliards d'années, l'activité interne s'est assoupie, les impacts de météorites à la surface sont devenus plus rares, et la Lune s'est lentement refroidie, devenant rigide jusqu'à une profondeur d'au moins 1 000 km. Tout au plus, le bombardement météoritique, en se poursuivant jusqu'à nos jours, a-t-il entraîné à la surface la formation de quelques grands cirques (Copernic, Aristarque, Tycho...) - dont la jeunesse est attestée par les longues traînées radiales de matériaux éjectés qui les entourent encore -, de nombreux cratères de moindre dimension, de la couche superficielle de roches brisées (régolithe) ainsi que du tapis de poussière qui la recouvre.

On admet aujourd'hui que la Lune s'est formée à la suite d'une collision tangentielle survenue entre la Terre et un autre corps du système solaire, d'une masse au moins égale à celle de Mars, à la fin de l'époque de la formation des planètes, alors que la Terre présentait déjà une structure différenciée, avec un noyau ferreux entouré d'un manteau rocheux. Sous l'effet de la collision, des lambeaux du manteau terrestre auraient été projetés dans l'espace ; mais ils auraient perdu la plupart de leurs éléments volatils en raison du dégagement de chaleur. Ces fragments de matière se seraient ensuite dispersés en anneau autour de la Terre, avant de se condenser très rapidement pour donner naissance à la Lune (*voir* illustration).

EXPLORATION FUTURE Bien que la Lune soit aujourd'hui le corps du système solaire le mieux connu après la Terre, elle recèle encore bien des secrets qui justifient la reprise de son exploration. Différents projets en ce sens existent aux États-Unis, en Europe et au Japon. La présomption de la présence de glace dans les régions polaires déduite des données recueillies par la sonde Clémentine* et par le satellite Lunar* Prospecter stimule de nouvelles recherches. Par ailleurs, la Lune représenterait une base d'observation astronomique idéale : elle est dépourvue d'atmosphère et, de son sol, on a donc accès à la totalité du spectre électromagnétique. La pesanteur à la surface y est faible et la sismicité réduite. Sa face arrière offre l'avantage supplémentaire d'être protégée de tous les rayonnements parasites provenant de la Terre (clair de Terre, bruit radioélectrique, émission ultraviolette de la géocouronne).

lune bleue. Nom donné (particulièrement aux Etats-Unis) à la seconde pleine lune d'un mois qui en renferme deux, comme cela se produit, en moyenne, tous les deux à trois ans.

lunette n.f. (diminutif de *lune).* Instrument d'optique destiné à l'observation des objets éloignés et dont l'objectif est constitué d'une lentille convergente ou d'un système achromatique équivalent.

ENCYCL. On distingue la lunette astronomique (ou simplement lunette), destinée à l'observation des astres et qui fournit des images renversées, et la lunette terrestre, destinée à l'observation des objets terrestres et qui fournit des images non renversées. La lunette astronomique se compose d'un objectif et d'un oculaire, constitués l'un et l'autre par un système de lentilles (à la différence du télescope*, dont l'objectif est un miroir). L'objectif est, en général, un système achromatique*. L'objectif constitue un disque éclairé dont l'oculaire donne une image réelle, appelée *cerck* ou *anneau oculaire,* qui est un petit cercle lumineux situé à peu de distance en arrière de l'oculaire.

lunette-guide n.f. Lunette associée à un astrographe ou, plus généralement, à tout instrument d'observation astronomique utilisé pour la photographie, et qui permet de maintenir un pointage correct sur l'astre ou le champ visé.

Lunik. Nom donné initialement aux sondes lunaires soviétiques Luna* 1,2 et 3.

luni-solaire adj. 1. Qui a rapport à la fois à la Lune et au Soleil. **2.** *Année luni-solaire :* année calculée sur la révolution de la Lune, mise en accord avec l'année solaire, **-•calendrier**

Lunokhod Lunakhod

Lup. Abréviation de *Lupus,* désignant la constellation du Loup.

Lupus (-i). Nom latin de la constellation du Loup (abrév. *Lup).*

Lyman (série ou **raies de)** [du nom de Theodore Lyman, physicien américain (1874-1954)]. Série de raies caractéristiques du spectre de l'hydrogène neutre dans l'ultraviolet, absorbées lorsque, dans un atome d'hydrogène, l'électron passe du niveau fondamental d'énergie à des niveaux supérieurs, et émises lors des transitions inverses.

ENCYCL. Les raies de Lyman sont désignées par la lettre L suivie d'une lettre grecque, a s'appliquant à la raie de longueur d'onde la plus élevée, P à la suivante, etc. Les longueurs d'onde correspondant aux principales raies sont :

La : 121,57 nm (1 215,7 À)

LP : 102,58 nm (1 025,8 À)

Ly : 978 25 nm (972,5 Â)

Comme dans le cas des raies de Balmer, il existe une longueur d'onde limite de cette série : 91,2 nm (912 Â).

Lyn. Abréviation de *Lynx,* désignant la constellation du Lynx.

Lynden-Bell (Donald), astrophysicien britannique (Douvres 1935).

Spécialiste de l'étude de la structure et de la dynamique des galaxies, il est le premier à avoir émis l'hypothèse, communément admise aujourd'hui, de la présence d'un trou noir extrêmement massif au centre des quasars (1969).

Lynx (en latin *Lynx, Lyncis).* Constellation boréale, dessinée par une ligne sinueuse d'étoiles peu brillantes (toutes ae magnitude apparente supérieure à 3), entre la Grande Ourse et le Cocher. Elle fut introduite vers 1660 par Hevelius, qui lui donna ce nom parce qu'il faut des yeux de lynx pour la distinguer.

Lyot (Bernard), astronome français (Paris 1897-Le Caire 1952). ,

Assistant de Pérot à l'Ecole polytechnique, il entra à l'observatoire de Meudon en 1920. Il se consacra à l'étude de la polarisation de la lumière diffusée par la Lune et les planètes et réalisa, dans ce but, un polarimètre de haute sensibilité. Ensuite, il inventa et construisit en 1931 le coronographe, qui permet d'observer la couronne en dehors des éclipses totales et grâce auquel il réalisa en 1935 le premier film montrant le mouvement des protubérances. En 1933, il inventa un filtre monochromatique polarisant, qui sélectionne les radiations propres aux différentes structures du Soleil et en fournit les premières images monochromatiques. En 1948, il réalisa, grâce aux progrès ae l'électronique, le polarimètre photoélectrique, dont il avait indiqué le principe dès 1924. Il mourut au retour d'une mission à Khartoum pour l'observation d'une éclipse totale de Soleil. Il est l'un de ceux qui ont le plus fait progresser, avant l'ère spatiale, notre connaissance du Soleil et des surfaces planétaires. Son nom a été donné au télescope de 2 m de l'observatoire du Pic* du Midi.

Lyr. Abréviation de Lyra, désignant la constellation de la Lyre.

Lyra (-ae). Nom latin de la constellation de la Lyre (abrév. *Lyr).*

Lyre (en latin *Lyra, -ae).* Constellation boréale.

ENCYCL. Son étoile principale, Véga*, est l'une des plus brillantes du ciel, s *Lyrae* constitue un système quadruple : à l'œil nu, si l'on possède une très bonne vue, ou bien avec des jumelles, on parvient à distinguer deux composantes de magnitude 5 environ, écartées de 208" ; à la lunette ou au télescope, ces étoiles apparaissent à leur tour dédoublées. L'étoile *RR Lyrae* est le prototype d'une classe d'étoiles variables puisantes analogues aux céphéides* mais moins lumineuses et de périodes plus courtes, inférieures à 0,8 jour. La constellation renferme

aussi, entre ses étoiles p et *y,* la célèbre nébuleuse planétaire M 57, en forme d'anneau, découverte en 1779 par le Français Antoine Darquier et perceptible avec des jumelles.
Située à 5 400 années de lumière de distance, elle représente une enveloppe de gaz d'environ 10 000 milliards de km de rayon, qui se disperse dans l'espace à une vitesse moyenne de 38 km/s.
L'étoile qui lui a donné naissance est visible au centre, comme un objet de magnitude 14,7. Son rayonnement très énergétique vaut à la nébuleuse de briller par luminescence.

Lyrides. Essaim de météorites, ou météores associés, observables autour du 21 avril et dont le radiant se situe dans la constellation de la Lyre. Cet essaim est issu de la comète Thatcher (18611).

Lysithea. Satellite de Jupiter (n° X), découvert en 1938 par l'Américain S. Nicholson.
ENCYCL. Demi-grand axe de son orbite : 11 720 000 km. Période de révolution sidérale : 259,22 j. Diamètre : 20 km. Il s'agit vraisemblablement d'un astéroïde capturé par l'attraction de Jupiter. Ses paramètres orbitaux suggèrent une origine cçmmune avec les satellites Léda, Himalia et Élara.

m

M. Initiale de *Messier** qui, suivie d'un numéro d'ordre, sert à désigner les objets répertoriés dans le catalogue des nébulosités célestes établi par C. Messier*.

M. Lettre parfois utilisée pour désigner les lanceurs japonais Mu*.

M. Type spectral caractérisant, dans la classification de Harvard, les étoiles dont la température superficielle est inférieure à 3 500 K : des étoiles rouges dont le spectre est dominé par les raies de métaux à l'état neutre et les bandes de certaines molécules, en particulier de l'oxyde de titane. Exemples : Antarès, Bételgeuse.

Mach (principe de). Hypothèse proposée par le physicien autrichien Ernst Mach (1838-1916), selon laquelle la masse d'un objet - qui mesure son « inertie », sa résistance au mouvement - est déterminée par la distribution de toute la matière dans l'Univers. Une conséquence de cette hypothèse, importante pour la cosmologie*, est que la géométrie de l'Univers est déterminée par la répartition des masses qu'il contient.

Machine pneumatique (en latin *Antlia, -ae).* Constellation australe. Elle ne renferme que des étoiles de faible éclat, dont la plus brillante est de magnitude apparente 4,4.

Mâdler (Johann Heinrich), astronome allemand (Berlin 1794-Hanovre 1874).
En collaboration avec W. Beer, il effectua entre 1830 et 1840 de nombreuses observations de la surface de la Lune et des planètes, spécialement de Mars. Il dressa la première carte aréographique, redétermina avec précision la période de rotation de Mars, établit une grande carte de la Lune (1834-1836) et publia un ouvrage de sélénographie (1837).
Successeur d'Otto Struve comme directeur de l'observatoire de Dorpat (1840-1865), il poursuivit son œuvre dans le domaine de l'observation des étoiles doubles.

Maffei (galaxies). Nom de deux galaxies proches, découvertes par l'astronome italien Paolo Maffei en 1968.
ENCYCL. Masquées par des nuages de poussière de notre galaxie, ces deux galaxies ne sont visibles que dans l'infrarouge. Maffei I est une galaxie elliptique géante, située à la périphérie du Groupe* local, à 4 millions d'années de lumière environ, et Maffei II une galaxie spirale de taille moyenne environ cinq fois plus lointaine.

Magellan (Nuages de). Nom donné à deux petites galaxies visibles à l'œil nu dans le ciel austral, remarquées pour la première fois par Magellan en 1519.
ENCYCL. Ce sont les galaxies les plus proches de la nôtre, dont elles sont des satellites, et à laquelle elles sont reliées par un long filament^ d'hydrogène appelé *courant magellanique.* Etant donné cette proximité, leur diamètre apparent est important.
On distingue le Grand Nuage de Magellan, à cheval sur les constellations de la Dorade et de la Table, situé à 180 000 al environ, qui a un diamètre apparent de 15°, et le Petit Nuage de Magellan, au sud-est de la constellation du Toucan, situé à 200 000 al, dont le diamètre apparent est de 5°. Ces galaxies sont de type irrégulier et contiennent une

proportion importante d'étoiles bleues jeunes et de gaz interstellaire. Les céphéides* du Petit Nuage ont été à la base d'une méthode d'évaluation de la distance des galaxies. En 1987 a été observée dans le Grand Nuage une supernova*, qui est devenue visible à l'œil nu.

Magellan. Grand télescope doté d'un miroir primaire de 6,5 m de diamètre, en cours d'installation à l'observatoire de Las* Campanas, au Chili. Le miroir, en verre aux borosilicates, aura une structure allégée ; la mise en service de l'instrument est attendue en 1999.

Magellan. Sonde automatique américaine d'exploration de Vénus.

ENCYCL. Constituée en grande partie d'éléments utilisés pour d'autres sondes (Voyager, Viking, Galileo, Ulysse), elle a été lancée le 5 mai 1989 par l'orbiteur *Atlantis* et s'est placée le 10 août 1990 sur une orbite quasi polaire autour de Vénus, dont l'altitude variait entre 250 et 8 070 km et qu'elle décrivait en 186 min. Sa mission principale consistait à obtenir, à l'aide d'un radar à synthèse d'ouverture, des images d'au moins 90 % de la surface de la planète avec une résolution meilleure que le kilomètre et de l'ordre de 100 m seulement sur plus de la moitié de l'astre. Elle était munie également d'un altimètre radar destiné à fournir une carte des altitudes de la surface vénusienne avec une précision verticale supérieure à 100 m et une résolution horizontale moyenne de 20 à 59 km. Enfin, des mesures de trajectographie utilisant l'effet Doppler devaient permettre d'utiliser la sonde pour établir une carte des anomalies de gravité de Vénus avec une résolution de 500 à 700 km et une précision de l'ordre de quelques milligals. Après avoir accompli quelque 15 000 révolutions autour de Vénus et cartographié 98 % de la surface de la planète, la sonde s'est abîmée dans l'atmosphère vénusienne le 12 octobre 1994, suivant les instructions qui lui avaient été envoyées de la Terre, en transmettant d'ultimes données au cours de sa descente.

Magellan a fait considérablement progresser notre connaissance du relief de Vénus.

Mages (étoile des). Astre qui, d'après l'Évangile de saint Matthieu, aurait averti des mages de l'Orient de la naissance du Christ et les aurait ensuite guidés vers Bethléem, lieu de cette naissance.

ENCYCL. Parmi les événements astronomiques susceptibles d'étayer le récit évangélique, celui qui semble le mieux s'accorder à la chronologie historique est un rapprochement exceptionnel (conjonction) de Jupiter et de Saturne dans le ciel, survenu à trois reprises en l'an 7 av. J.-C. (on sait aujourd'hui que la naissance du Christ a eu lieu plusieurs années avant le début de l'ère chrétienne, une erreur de chronologie ayant été commise au VIe siècle par le moine Denys le Petit). Certains astronomes proposent de retenir plutôt le rapprochement apparent de Jupiter et de Vénus intervenu en l'an 2 av. J.-C. Mais peut-être l'étoile des Mages ne représente-t-elle qu'un symbole dont il est vain de chercher à établir la réalité astronomique.

magnétogaine n.f. Zone de turbulence qui, dans l'environnement d'une planète pourvue d'une magnétosphère, sépare la magnétopause de l'onde de choc magnétosphérique.

magnétographe n.m. Instrument utilisé en astronomie solaire pour cartographier l'intensité, la direction et la répartition du champ magnétique à la surface du Soleil.

magnétohydrodynamique n.f. Branche de la physique qui étudie l'écoulement des fluides conducteurs (gaz ionisés, plasmas) en présence de champs magnétiques. Abréviation : *MHD*.

ENCYCL. L'astrophysique joue un rôle important dans le développement de la magnétohydrodynamique. Celle-ci intervient, par exemple, dans l'explication de la structure des atmosphères stellaires ou des interactions entre le vent solaire et le plasma cométaire.

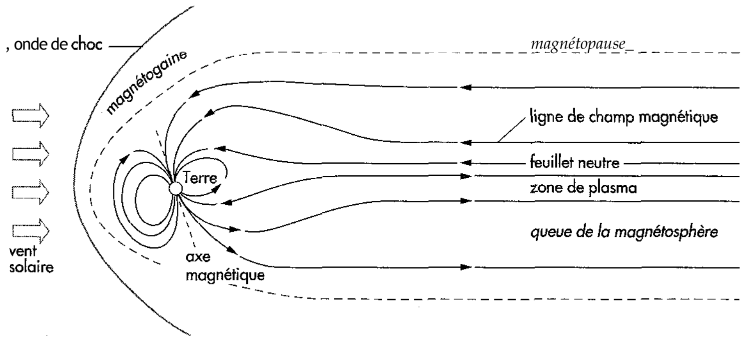
magnétomètre n.m. Instrument permettant de mesurer l'intensité et la direction d'un champ magnétique.

magnétopause ni. Limite externe de la magnétosphère d'une planète.

magnétosphère ni. Zone dans laquelle le champ magnétique d'une planète se trouve confiné par le vent solaire.
ENCYCL. L'exploration de la magnétosphère terrestre, dont l'existence était soupçonnée depuis les travaux de l'Allemand L.F. Biermann sur le vent solaire, a commencé en 1957 avec l'Année géophysique internationale et la mise en oeuvre de moyens d'exploration spatiaux. C'est au cours des années suivantes que le nom de « magnétosphère » fut pour la première fois utilisé (Gold, 1959) et que furent découvertes les ceintures* de rayonnement (Explorer 1, Spoutnik 3...), l'onde de choc magnétosphérique, la magnétogaine et la magnétopause. La limite basse de la magnétosphère terrestre se situe dans l'ionosphère supérieure. Sa limite haute, ou magnétopause, qui sépare les particules solaires et celles d'origine ionosphérique, est située en deçà de l'onde de choc qui se forme à quelque 14 rayons terrestres de notre planète ; il existe en effet une zone de turbulence intermédiaire, appelée *magnitogaine.* Du côté du Soleil, la magnétopause apparaît à une distance telle que la pression magnétique soit équilibrée par la pression du plasma solaire, soit à 10 rayons terrestres environ du centre du globe. Du côté nuit, la cavité magnétosphérique s'étire sur plusieurs centaines de rayons terrestres, bien au-delà de l'orbite lunaire. Cette région (queue de la magnétosphère) est caractérisée par la présence d'un feuillet neutre central entouré par une zone de plasma chaud ; les lignes de champ y sont ouvertes, orientées vers le Soleil dans l'hémisphère Nord et vers la direction antisolaire dans l'hémisphère Sud.
La magnétosphère terrestre est une région facilement accessible aux satellites, qui peuvent mesurer *in situ* les caractéristiques du plasma qu'elle renferme : densité, degré d'ionisation, composition, distribution en énergie des particules, etc.
Trois régions sont particulièrement intéressantes à étudier :
- les régions d'interface avec le vent solaire (onde de choc, magnétogaine, magnétopause), où celui-ci est brusquement ralenti, chauffé et dévié de sa trajectoire par le champ magnétique terrestre ;
- les « réservoirs » de plasma froid que constituent l'ionosphère et la magnétosphère interne (plasma-sphère) ;
- les régions d'accélération des particules, c'est-à-dire la queue magnétosphérique et surtout les régions aurorales.
Mercure* possède une magnétosphère réduite, dépourvue de ceintures de rayonnement. Vénus* et Mars*, sans champ magnétique intrinsèque, n'ont pas de magnétosphère. Jupiter*, Saturne*, Uranus* et Neptune*, en revanche, possèdent des champs magnétiques intenses et des magnétosphères gigantesques, dont les sondes américaines Voyager* ont révélé les principales caractéristiques.

magnitude n.f. Nombre qui caractérise l'éclat apparent (magnitude apparente) ou la

Coupe méridienne de ia **magnétosphère terrestre**



luminosité intrinsèque (magnitude absolue) d'un astre.

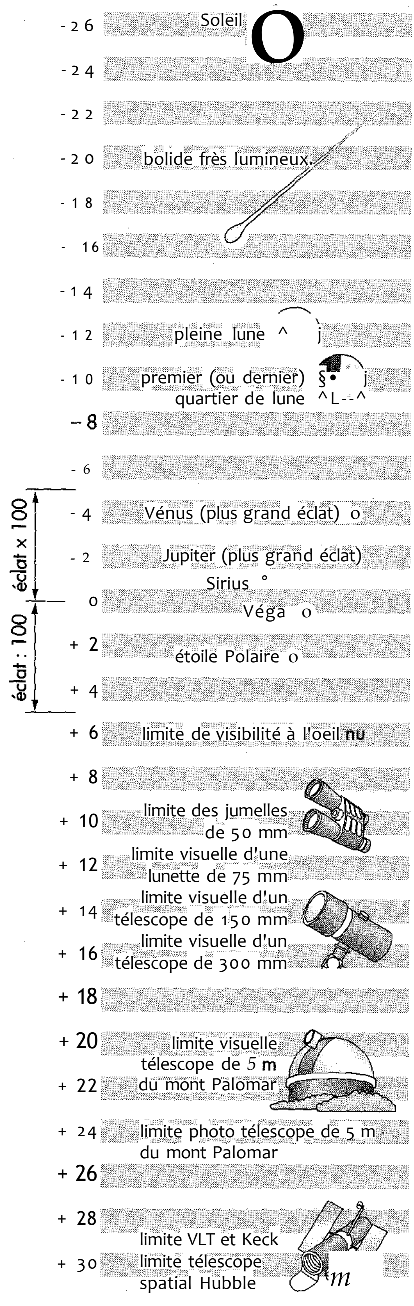
BJCYCL Au n^e av. J.-C., Hipparque eut l'idée de classer les étoiles en six grandeurs*, par ordre d'éclat décroissant. Depuis l'invention des instruments d'optique, la découverte d'astres d'éclat plus faible que ceux visibles à l'œil nu a conduit les astronomes à étendre et à préciser l'échelle des grandeurs, qui est ainsi devenue l'échelle des magnitudes.

MAGNITUDE APPARENTE. La magnitude apparente m d'un astre d'éclat E est définie par la relation établie en 1856 par Norman Pogson : $m = 2{,}512 \log E + k$, où k est une constante arbitraire. On utilise plutôt la définition relative $m - m_0 = - 2{,}512 \log E_0/E$ dans laquelle m et m_0 désignent les magnitudes de deux astres dont les éclats respectifs sont E et E_0. En attribuant conventionnellement une magnitude donnée à quelques étoiles prises comme référence, on peut déterminer ainsi la magnitude de toutes les autres.

Sur l'échelle des magnitudes, les nombres les plus petits correspondent aux astres les plus brillants. L'échelle des magnitudes a été définie de telle sorte qu'il existe un rapport d'éclat de 100 entre les étoiles de magnitude 1 et celles de magnitude 6. À une différence de 1 magnitude entre deux astres correspond un rapport d'éclat de 2,512 ; à une différence de n magnitudes, un rapport d'éclat de (2,512)". L'échelle des grandeurs définie empiriquement par Hipparque correspond approximativement à l'échelle des magnitudes par suite d'une propriété de l'œil en vertu de laquelle les variations d'éclat que celui-ci peut apprécier suivent une échelle logarithmique. Toutefois, certaines étoiles reconnues de première grandeur par Hipparque sont en réalité plus brillantes, ce qui leur vaut, dans l'échelle moderne, d'avoir une magnitude nulle ou négative.

L'œil nu permet de discerner les astres jusqu'à la magnitude 6 (*voir* figure) ; avec une paire de jumelles, on peut atteindre la magnitude 9 ; avec une lunette d'amateur de 75 mm d'ouverture, la magnitude 11 ; avec un télescope de 200 mm, la magnitude 13,5. Dans les conditions les plus favorables, le télescope de 5,08 m du mont Palomar permet d'observer des astres de magnitude 20,6 et de photographier des objets célestes de magnitude 23,5. Les télescopes récents les

Magnitude



plus performants installés au sol permettent d'atteindre la magnitude 28. La détermination des magnitudes repose sur des mesures précises de l'intensité du rayonnement des astres. Selon le récepteur utilisé, on distingue, notamment, les magnitudes visuelles, photographiques ou photoélectriques. En effet, les différents récepteurs (œil, plaque photographique, photomètre photoélectrique, etc.) ne réagissent pas de façon identique au rayonnement qui les atteint : ils ont des sensibilités spectrales différentes. Seules les magnitudes bolométriques prennent en compte la totalité du rayonnement émis, visible et invisible. On a fixé le zéro des magnitudes visuelles en attribuant la magnitude 6,55 à l'étoile *X* de la Petite Ourse. La distribution d'énergie des étoiles variant suivant les longueurs d'onde, il est indispensable de préciser le domaine spectral sur lequel ont porté les mesures. Le système photométrique le plus courant est le système UBV, où l'on détermine la magnitude dans l'ultraviolet (U), le bleu (B) et le jaune proche de la sensibilité maximale de l'œil (V pour *visible).* La différence entre les magnitudes apparentes d'un même astre mesurées à deux longueurs d'onde distinctes constitue un paramètre permettant de caractériser de façon objective la couleur de l'astre : on l'appelle *indice de couleur.* Dans le système UBV, on considère, en général, les indices U-B et B-V.
MAGNITUDE ABSOLUE. La magnitude apparente d'un astre dépend non seulement de sa luminosité, mais aussi de sa distance. Pour pouvoir comparer la luminosité des astres, on considère la magnitude qui les caractériserait s'ils se trouvaient à une distance uniforme de 10 parsecs (magnitude absolue). Connaissant la magnitude apparente et la magnitude absolue d'un astre, on peut calculer sa distance. **module* de distance**

maintenance n.f. En astronautique, ensemble des opérations permettant de maintenir ou de rétablir un système (mais aussi un satellite artificiel ou une station orbitale) dans son état de fonctionnement.

maintien à poste. Ensemble des opérations visant à maintenir un satellite sur une orbite donnée, celle obtenue à l'issue de la mise à poste. Rendues nécessaires par la déformation de cette orbite sous l'effet de diverses perturbations, ces manœuvres correctrices sont effectuées périodiquement tout au long de la vie opérationnelle du satellite (soit plusieurs années), **SYN :** *maintien en position*

Maksutov (télescope de). Télescope compact à grand champ, inventé vers 1940 par le Soviétique Dimitri Maksutov (1896-1964), qui comporte, comme le télescope de Schmidt*-Cassegrain, un miroir primaire sphérique percé en son centre, mais dont la lame correctrice est un ménisque bisphérique. Ce type d'instrument est très répandu parmi les télescopes portables d'amateurs.

mal de l'espace. Ensemble des symptômes souvent observés chez l'homme en état d'impesanteur. **SYN :** *syndrome d'adaptation à l'espace*
ENCYCL. Un spationaute victime de ce syndrome peut demeurer prostré pendant plusieurs jours dans un coin du vaisseau spatial, incapable du moindre mouvement (sous peine de vomissements), et bien sûr, de la moindre activité.
Deux spationautes sur trois, estime-t-on, sont sujets au mal de l'espace, qui se caractérise par des manifestations souvent de type neurovégétatif :
- sur le plan fonctionnel : malaise général, nausées, douleurs épigastriques, céphalées, vertiges, angoisse, désorientation, difficultés de concentration, fatigue ;
- sur le plan objectif : vomissements, pâleurs, sueurs, hyperventilation, somnolence.
Ces symptômes, qui se manifestent dès les premières heures de la mission, disparaissent le plus souvent en deux ou trois jours.
Trois hypothèses sont avancées pour expliquer ce syndrome :
- l'hypothèse du conflit neurosensoriel, provoqué par les informations contradictoires adressées au cerveau par les systèmes vestibulaire, proprioceptif et visuel ;
- l'hypothèse digestive, dans laquelle une nouvelle répartition des liquides et des gaz dans l'estomac provoquerait une stimulation excessive de certains récepteurs de la paroi gastrique ;
- l'hypothèse hémodynamique, dans la-

quelle la redistribution des liquides organiques pourrait provoquer une stase veineuse au niveau cérébral et une élévation de la pression intracrânienne.
En fait, les trois mécanismes sont peut-être associés avec, cependant, un rôle majeur pour le premier d'entre eux dans la mesure où l'on sait que l'apparition du syndrome est liée aux mouvements de la tête par rapport au corps du spationaute.
Le moyen le plus efficace, à ce jour, de prévenir ou de combattre le mal de l'espace est d'ordre pharmacologique. On utilise notamment le Scopdex, association de scopolamine et d'une amphétamine (la dexédrine). Dans certains cas, des méthodes de contrôle de la respiration peuvent donner des résultats satisfaisants.

Malerba (Franco), ingénieur et spationaute italien (Gênes, *1946).*
Il devient le premier Italien à effectuer un vol spatial en participant, en tant que spécialiste de charge utile, à la 49e mission de la navette spatiale américaine (emportant le premier satellite captif, TSS* 1, développé par l'Agence spatiale italienne), du 31 juillet au 8 août 1992.

Manarov (Moussa), cosmonaute azerbaïdjanais (Bakou, 1951).
Premier homme, avec Vladimir Titov, à avoir vécu plus d'une année dans l'espace (essentiellement à bord de la station orbitale Mir), très exactement 365 j 22 h 40 min, du 21 décembre 1987 au 21 décembre 1988, il est devenu à l'issue d'une deuxième mission spatiale de longue durée, du 2 décembre 1990 au 26 mai 1991, le nouveau détenteur du record de temps de présence dans l'espace, avec une durée de séjour cumulée de 541 j 31 min, battu en 1995 par Poliakov*.

manœuvre orbitale. Changement de position, d'orientation ou de trajectoire exécuté par un véhicule spatial en orbite au moyen d'un système propulsif.

manteau n.m. Partie d'une planète tellurique ou d'un satellite naturel à structure chimiquement différenciée qui est comprise entre la croûte et le noyau.

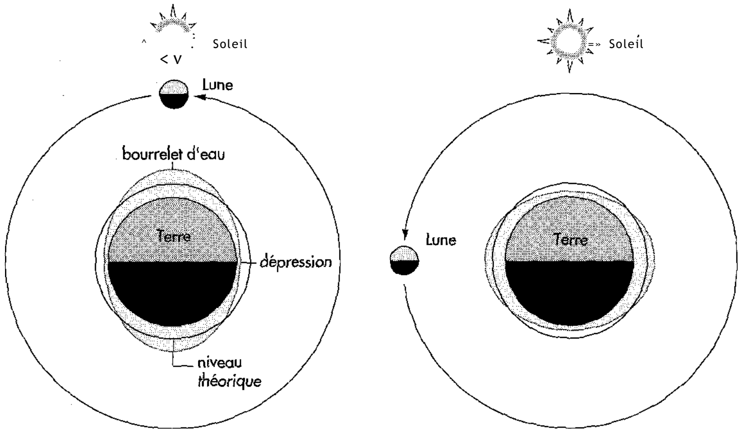
MAP (sigle de l'angl. *Microwave Anisotropy Probe).* Satellite américain pour l'étude du rayonnement* du fond de ciel à 3 K.
ENCYCL. Sa mission s'inscrit dans le prolongement de celle du satellite COBE*. Elle aura pour objectif de mesurer les anisotropies du rayonnement cosmologique à des échelles angulaires beaucoup plus petites que celles observées par COBE. Son lancement est prévu en 2001.

mare (mot latin ; pl. *maria)* n.f. Dans la nomenclature du relief lunaire, plaine de lave solidifiée formant une grande tache sombre regardée autrefois comme une vaste étendue d'eau. En français, le terme équivalent est *mer ;* l'appellation *océan (oceanus)* est utilisée pour les mers les plus étendues.

Marées (sigle de l'angl. *MARitime European Communication Satellite,* Satellite européen de communication maritime). Satellites géostationnaires européens destinés aux télécommunications avec des navires.
Le premier a été lancé le 20 décembre 1981 par la fusée Ariane. Ces satellites ont été utilisés par Inmarsat.

marée n.f. **1.** Oscillation quotidienne de la mer dont le niveau monte et descend alternativement sous l'attraction gravitationnelle conjuguée de la Lune et du Soleil. On dit aussi *marée océanique. 2.* Toute déformation d'un astre provoquée par l'attraction d'un autre.
ENCYCL. Les marées océaniques que l'on observe habituellement ne sont que la différence entre les mouvements de la surface des océans et ceux de la surface du sol. Il est à noter par ailleurs que ces derniers ne sont pas négligeables par rapport aux premiers, leur amplitude pouvant atteindre quelques dizaines de centimètres dans les régions équatoriales.
Compte tenu des masses relatives de la Lune et du Soleil, et des distances de ces astres à la Terre, l'attraction de la Lune en un point de la surface terrestre est 2,17 fois plus forte que celle du Soleil.
En fait, les caractéristiques de l'onde de marée sont plus ou moins modifiées par le milieu géographique.
La force génératrice de la marée varie en

Marées



intensité selon que les attractions de la Lune et du Soleil s'ajoutent (en syzygie, produisant une vive-eau) ou se retranchent (en quadrature et en opposition, créant une morte-eau). Ainsi, l'amplitude est forte en vive-eau, mais faible en morte-eau. Ces changements cycliques du marnage (différence entre la hauteur de la pleine mer et celle de la basse mer) sont exprimés en *coefficients de marée.* L'amplitude, la période et le parcours de l'onde théorique sont modifiés par les formes des bassins océaniques. Faible au centre des océans, le marnage est amplifié par effet de résonance dans les bassins larges (principalement sur les rivages) : ainsi, l'amplitude atteint souvent plusieurs mètres, et les hauteurs records s'observent dans la baie du Mont-Saint-Michel (16,10 m) et la baie de Fundy (19,60 m), au Canada oriental. À l'inverse, le marnage est réduit dans certaines mers marginales, *comme* la Méditerranée.

Margarita. Autre nom de *la Perle**, l'étoile *a* de la Couronne boréale.

Mariner. Sondes spatiales américaines destinées à l'étude des planètes et de leur environnement.

ENCYCL. Les Mariner, stabilisés suivant leurs trois axes, sont des engins assez lourds (jusqu'à 1 t) disposant d'une instrumentation plus complexe que les Pioneer*, conçue en particulier pour l'obtention d'images des astres qu'ils survolent ; les sondes Voyager* 1 et 2, qui ont observé Jupiter puis Saturne entre 1979 et 1981, Voyager 2 étant ensuite allée survoler Uranus en 1986 puis Neptune en 1989, appartiennent à cette catégorie d'engins, comme en témoigne leur nom initial : Mariner-Jupiter-Saturn. Les sondes de type Mariner ont ainsi fourni des observations rapprochées de Mercure, de Vénus, de Mars, de Jupiter, de Saturne, d'Uranus, de Neptune et de leurs satellites.

Le premier succès planétaire de l'histoire spatiale a été le fait de Mariner 2 : lancé le 27 août 1962, cet engin survola Vénus à une distance de 34 830 km le 14 décembre 1962, en découvrant notamment que la température et la pression à la surface de cette planète devaient être très élevées (plus de 400 °C et de 20 bars), fait confirmé ultérieurement par les sondes soviétiques Venera*. Vénus a été survolée par deux autres engins Mariner : Mariner 5 en 1967, qui la frôla à 4 000 km de distance, et Mariner 10 en 1974, qui retransmit les premières images rapprochées de sa couche nuageuse. L'étoile du Berger n'était cependant pas le principal objectif de Mariner 10 : sa trajectoire ayant été modifiée par son passage près de Vénus. Mariner 10 se dirigea vers Mercure, qu'il survola pour la première fois le 29 mars 1974, à 690 km d'altitude seulement, en obtenant des milliers de photographies. Anté

ōeuiement aux missions Mariner-Jupiter-Satum/Voyager, le grand objectif du programme Mariner n'a cependant pas été Vénus ou Mercure, mais Mars. Dès le 14 juillet 1965, Mariner 4, passant à 9 600 km de la planète rouge, transmit les premières images rapprochées de celle-ci. Quatre ans plus tard, les sondes Mariner 6 et 7 renouvelèrent cette performance en obtenant des images plus nombreuses (201 au total contre 22 pour Mariner 4) et de meilleure résolution. Un progrès beaucoup plus important encore fut accompli en 1971 avec Mariner 9 : le 13 novembre, celui-ci devint le premier satellite artificiel de Mars, qu'il devait par la suite photographier dans sa totalité (plus de 7 000 clichés au total), en révélant un monde inattendu, avec des volcans, des canons, des vallées glaciaires, et en ouvrant la voie aux engins Viking.
Trois lancements de ces engins ont échoué à cause de défaillances des fusées porteuses : ceux de Mariner 1 en 1962, de Mariner 3 en 1964 et de Mariner 8 en 1971.

Marisat. Programme expérimental de télécommunications avec des navires par l'intermédiaire de satellites géostationnaires.
ENCYCL. Trois satellites Marisat ont été lancés en 1976 par la NASA pour le compte de la société américaine Comsat. Us ont d'abord été utilisés par des bâtiments des forces maritimes américaines, puis progressivement par des utilisateurs privés. Avec les satellites européens Marées* et des répéteurs installés sur des satellites Intelsat*, ils ont constitué le réseau de départ de l'organisation internationale Inmarsat*.

Marius (Simon Mair, ou Mayr, ou Mayer), astronome allemand (Gunzenhause, Franconie, 1573 - Oettingen ou Ansbach, Bavière, 1625).
Il observa, indépendamment de Galilée, les quatre principaux satellites de Jupiter (auxquels il donna leur nom) et fut le premier à publier des tables de leur mouvement périodique moyen, à reconnaître leurs variations d'éclat et à identifier le plus brillant d'entre eux. Il est aussi le premier à avoir observé à la lunette la galaxie d'Andromède* (1612).

Markab (nom arabe signifiant *selle,* par allusion à la représentation ancienne de la constellation). Étoile a de Pégase. Magnitude apparente visuelle : 2,5. Type spectral : A0. Distance : 140 années de lumière.

Markarian (galaxies de). Type de galaxies découvertes vers 1970 par B. E. Markarian à l'observatoire de Biourakan (Arménie) et caractérisées par leur très forte émission de rayonnement ultraviolet.
ENCYCL. Ces galaxies se répartissent en deux classes : des galaxies spirales à noyau très brillant, s'apparentant aux galaxies de Seyfert* et dont l'émission est concentrée dans le noyau, et des galaxies dont l'émission est plus diffuse et semble due à une population stellaire comprenant une proportion très élevée d'étoiles massives et chaudes de type spectral O et B.

Markeb. Étoile a des Voiles. Magnitude apparente visuelle : 2,5. Type spectral : B3. Distance : 300 années de lumière environ.

Marots (acronyme de *MARitime Orbital Test Satellite),* projet de satellites européens de communications maritimes qui auraient utilisé la plate-forme des satellites OTS*. (Envisagé à partir de 1973 sur la base d'une proposition du Royaume-Uni, ce projet a été ultérieurement modifié pour donner naissance, en 1978, au programme Marées*.)

Mars. Planète du système solaire, située au-delà de la Terre.
ENCYCL. Observée depuis l'Antiquité, Mars est souvent désignée sous le nom de *planète rouge* en raison de sa teinte caractéristique, aisément perceptible à l'œil nu. On lui connaît deux petits satellites, découverts en 1877 : Phobos* et Deimos*.
EXPLORATION SPATIALE. Elle a commencé avec la sonde américaine Mariner*4, qui passa à 9 780 km de la surface de la planète le 14 juillet 1965, en prit 22 images (dont la meilleure avait une résolution au sol de 3 km) et étudia son environnement magnétique et particulaire. Cette exploration s'est poursuivie avec Mariner 6 et Mariner 7, qui s'approchèrent respectivement à 3 330 et à 3 518 km de la surface, le 31 juillet et le 5 août 1969, transmirent la première

76 images et la seconde 159 et étudièrent la structure et la composition de l'atmosphère. Mariner 9 fut la première sonde à se placer en orbite martienne, le 13 novembre 1971, à 1 390 km d'altitude, pour effectuer une cartographie complète de la surface. Elle fournit au total 7 329 images. Après l'échec des sondes soviétiques Mars, une nouvelle étape de l'exploration martienne s'est ouverte en 1976 avec les sondes américaines Viking*, comprenant chacune un orbiteur (destiné à poursuivre la cartographie de Mars, avec une meilleure résolution que Mariner 9) et un atterrisseur (chargé d'un ensemble de mesures et d'analyses d'échantillons du sol sur le site d'atterrissage, en particulier pour tenter d'y déceler la présence de vie). L'exploration de Mars a repris en 1997 avec Mars* Pathfinder.

RELIEF. Il comprend des cratères et des bassins d'impact analogues à ceux que l'on rencontre sur Mercure ou sur la Lune, mais aussi des plaines volcaniques, de nombreuses failles, des vallées sinueuses, des champs de dunes, etc. On y observe tout à la fois des indices d'un bombardement météoritique ancien et des preuves d'une activité tectonique, de phénomènes de volcanisme très intense, d'érosion par l'eau, d'usure et de sédimentation à grande échelle par le vent.

Alors que l'hémisphère Nord est occupé en majeure partie par des plaines volcaniques très semblables aux « mers » lunaires, l'hémisphère Sud offre un relief beaucoup plus tourmenté, avec une prédominance de grands cratères, de dimensions supérieures à une dizaine de kilomètres. Cette dissymétrie provient vraisemblablement de ce que, dans l'hémisphère Nord, les coulées de laves qui se sont infiltrées à travers la croûte pour recouvrir les plaines ont fait disparaître les cratères qui s'étaient formés à une époque antérieure.

Le plus vaste bassin d'impact, *Hellas,* dans l'hémisphère Sud, a 2 000 km de diamètre. Les grand volcans, éteints, se concentrent dans la région équatoriale, sur le plateau Tharsis. Le plus imposant, *Olympus Mons,* atteint 600 km de diamètre à la base, et il se dresse à 26 km au-dessus du niveau moyen de Mars ; c'est le plus grand volcan actuellement connu dans le système solaire. Il serait éteint depuis 100 millions d'années environ. Juste au sud de l'équateur, une immense fracture, *Vallès Marineris,* s'étend sur près de 4 000 km. Cette grande faille, qui mesure par endroits 120 km de large et 6 km de profondeur, est sans doute un fossé d'effondrement ouvert dans la croûte martienne à la suite d'un violent mouvement tectonique. Les clichés spatiaux ont révélé aussi la présence sur Mars de vallées sinueuses qui suivent presque toujours la déclivité du terrain, possèdent souvent des affluents et présentent toutes les caractéristiques de lits de fleuves asséchés avec, notamment, la présence de dépôts alluvionnaires et d'îlots en forme de larme orientés dans le sens de la pente. Ces formations indiquent, à l'évidence, qu'un liquide a coulé jadis à la surface de Mars. On présume que ce fut de l'eau, mais cette hypothèse implique que la planète ait connu un climat à la fois plus chaud et plus humide qu'aujourd'hui. En effet, l'eau ne peut exister de nos jours à l'état liquide à la surface de Mars ; elle se transformerait en glace puis en vapeur. Toutefois, il est probable que le sous-sol martien renferme d'importantes quantités d'eau sous forme de permafrost.

Les régions polaires sont recouvertes de calottes de glace et de neige carbonique, bien visibles depuis la Terre, qui s'étendent et régressent alternativement au rythme des saisons (l'équateur de Mars est incliné de 24° sur le plan de l'orbite de la planète ; l'astre est donc soumis à des saisons aussi accusées que celles de la Terre, mais, compte tenu de la durée de l'année martienne, près de deux fois plus longues).

STRUCTURE ET COMPOSITION DU SOL. Les photographies transmises par les sondes Viking après leur atterrissage sur Mars, en 1976, montrent un sol rocailleux, auquel des oxydes de fer donnent une couleur rouge-orangé caractéristique.

Comme sur la Lune, les roches constitutives du sol sont des roches éruptives et des brèches, mais il semble que le régolite soit plus important que le régolite lunaire, avec une épaisseur dépassant une centaine de mètres. L'analyse d'échantillons du sol de Mars par le spectromètre à rayons X dont était doté chaque engin Viking a fait apparaître une proportion d'environ 50 % d'oxygène,

CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES DE MARS

Diamètre équatoriai	6 792 km (0,533 fois celui de la Terre)
Diamètre polaire	6 760 km
Aplatissement	0,0069
Masse par rapport à celle de la Terre	0,107
Densité moyenne	3,91
Accélération de la pesanteur à l'équateur	0,38 fois ceËe de la Terre
Vitesse de libération	5,02 km/s
Période de rotation sidérale	24 h 37 min 22,7 s
Inclinaison de l'équateur sur l'orbite	25,19°
Albédo	0,154

CARACTÉRISTIQUES ORBITALES DE MARS

Demi-grand axe de l'orbite	227 940 000 km, soit 1,523 7 ua
Distance maximale au Soleil	249 000 000 km
Distance minimale au Soleil	207 000 000 km
Excentricité	0,093
Inclinaison sur l'écliptique	1° 51'
Période de révolution sidérale	686,930 j
Vitesse orbitale moyenne	24,14 km/s
Période de révolution synodique	779,94 j
Distance maximale à la Terre	400 000 000 km
Distance minimale à la Terre	56 000 000 km

20 % de silicium, 14 % de fer, 2 à 7 % d'aluminium et des proportions moindres d'autres éléments. Par rapport à la composition moyenne des roches terrestres, la différence essentielle réside dans la teneur en fer, environ trois fois plus importante.

ATMOSPHÈRE ET MÉTÉOROLOGIE. L'atmosphère martienne, extrêmement ténue, renferme 95,3 % de gaz carbonique, 2,7 % d'azote, 1,6 % d'argon et des traces d'oxygène, d'oxyde de carbone, de vapeur d'eau et d'autres gaz. La pression atmosphérique au niveau du sol des plaines varie de 5 à 7 millibars et l'on a choisi la valeur 6,1 millibars comme pression standard de référence définissant l'altitude zéro (sur la Terre, la pression correspondante vaut 1 013 millibars).

Les températures sont basses et les écarts thermiques diurnes importants + 22 °C au maximum pendant le jour et - 73 °C au minimum pendant la nuit à l'équateur. La plus basse température (-143 °C) a été relevée par Viking Orbiter 2 au pôle Sud pendant l'hiver austral.

Balayant un sol sec, les vents soulèvent des poussières ferrugineuses qui provoquent une absorption et une diffusion de la lumière solaire, donnant à l'atmosphère une teinte rose ocre.

De violentes tempêtes, avec des vents dont la vitesse dépasse 200 km/h, soulèvent des nuages de poussière qui peuvent monter jusqu'à 50 km d'altitude. Des tempêtes particulièrement violentes ont été observées en 1892,1924,1941,1956 et 1971, modifiant la forme et la teinte de certaines régions vues de la Terre. Le vent est aujourd'hui le principal agent d'altération de la surface martienne. L'intense activité éolienne est attestée par l'existence de champs de dunes. Le plus important, *Hellespontus,* à l'ouest du bassin *Hellas,* occupe une zone de 1 600 km².

STRUCTURE INTERNE. Les modèles de structure interne prévoient que Mars, à l'instar des autres planètes telluriques, comporte un noyau central, entouré d'un manteau et d'une croûte superficielle. Il semble que l'écorce ait une épaisseur moyenne de 40 à 50 km, atteignant plus de 80 km sous les

hautes montagnes pour s'abaisser à 8 km seulement sous les grands bassins d'impact. Elle serait donc beaucoup plus épaisse que la croûte terrestre (dont l'épaisseur n'est que de 30 km environ, pour une planète dont le diamètre est approximativement le double de celui de Mars), ce qui expliquerait sa grande stabilité. Le noyau, au contraire, doit être relativement petit : son diamètre serait de l'ordre de 2 *500 km.*

LA RECHERCHE DE LA VIE. La mission la plus ambitieuse des deux laboratoires automatiques Viking déposés sur Mars en 1976 consistait à détecter d'éventuels indices de vie sur le sol martien. Mars est, en effet, après la Terre, la planète du système solaire où les conditions sont les plus propices à l'apparition de la vie. La présence d'argon dans l'atmosphère est l'indice que celle-ci fut jadis plus dense, ce qui renforce l'hypothèse selon laquelle de l'eau a pu, dans les temps anciens, couler sur la planète. Aussi, tout en considérant comme très improbable la présence d'une vie macroscopique sur Mars, de nombreux scientifiques estiment plausible l'existence de micro-organismes sur la planète.

Bien que la vie puisse adopter, sur d'autres mondes, des formes différentes de celles que nous connaissons, les responsables du programme Viking sont partis de l'hypothèse que d'éventuels organismes martiens avaient de grandes chances de se manifester par l'un au moins des deux phénomènes caractéristiques de la vie terrestre : la respiration des animaux, qui consomment de l'oxygène pour leurs réactions de combustion et rejettent du gaz carbonique, et la photosynthèse des végétaux, fondée au contraire sur l'absorption de gaz carbonique et le rejet d'oxygène.

Afin de détecter ces manifestations de la vie, chaque atterrisseur Viking était doté de trois dispositifs d'analyse. Un quatrième appareil, qui combinait la technique de la chromatographie gazeuse et celle de la spectrométrie de masse, avait pour fonction d'analyser la composition chimique du sol et, en particulier, de révéler la présence éventuelle de molécules organiques.

Les différentes expériences effectuées ont donné des résultats qui, dans un premier temps, ont laissé les spécialistes extrêmement perplexes. En effet, les « détecteurs de vie » ont fourni des réponses nettement positives, mais l'analyseur chimique, pourtant extrêmement sensible (il était capable de détecter une proportion de matière organique égale à une part pour quelques dizaines de millions de parts de substance inorganique), n'a pas trouvé la moindre trace de molécules organiques. Il semble, en fait, que les réponses des « détecteurs de vie » traduisent une activité chimique très particulière du sol martien, soumis continuellement au rayonnement ultraviolet du Soleil. Selon certains experts, cette activité serait due à la présence de superoxydes et d'hyperoxydes à la surface de Mars, mais d'autres processus chimiques ont été également proposés.

POURSUITE DE L'EXPLORATION SPATIALE. Mars recèle encore de nombreuses énigmes : sa structure interne reste incertaine et son histoire géologique imprécise ; mais, surtout, en relation avec la question fascinante de la possibilité d'éclosion de la vie sur cette planète, on aimerait en savoir davantage sur son activité fluviale passée, connaître la durée pendant laquelle de l'eau a subsisté sous forme liquide à sa surface et vérifier s'il existe bien d'importantes quantités de glace emprisonnées dans son sous-sol. Cela justifie la poursuite de son exploration : celle-ci, après le succès des missions Mars* Pathfinder et Mars* Global Surveyor, va s'intensifier au cours des prochaines années, pour culminer avant 2010 avec le retour sur la Terre d'échantillons martiens **Mars Express, Mars Sample Return, Mars Surveyor**

Mars. Sondes soviétiques destinées à l'étude de la planète Mars.

ENCYCL. Sept engins de ce type ont été lancés avec succès au cours des années 60 et 70. Mars 1, lancé le 1er novembre 1962, était une sonde de première génération, pesant 890 kg, qui tomba en panne pendant le trajet Terre-Mars. Les six autres engins de la famille appartenaient à la seconde génération des sondes planétaires soviétiques, d'une masse proche de 5 t. Mars 2 et Mars 3 furent lancés en mai 1971 et parvinrent à se satelliser autour de Mars six mois plus tard, mais ils échouèrent dans leur tentative de déposer en douceur des laboratoires sur le soi martien. Les quatre engins suivants, Mars 4, 5, 6 et 7, furent lancés au cours de

l'été 1973, les deux premiers pour se satelliser autour de Mars et les deux autres pour déposer des laboratoires à sa surface. Seul Mars 5 parvint à accomplir la mission qui lui était dévolue. Les trois autres engins échouèrent. À la suite de ce revers, les Soviétiques ont temporairement renoncé à envoyer des sondes vers Mars (jusqu'en 1988).

Mars Climate Orbiter. Sonde américaine d'étude de la planète Mars.
ENCYCL. Lancée le 11 décembre 1998, elle doit se placer en orbite autour de Mars le 23 septembre 1999 pour étudier la météorologie martienne. Dotée d'une caméra couleurs jumelée à un radiomètre, elle a pour mission de recueillir le rayonnement infrarouge de l'atmosphère et d'en déduire la concentration en poussières et en vapeur d'eau, pendant une année martienne (687 j) ; elle doit aussi servir de relais de communication avec la Terre pour la sonde Mars* Polar Lander.

Mars Express. Sonde européenne d'exploration de la planète Mars.
ENCYCL. Cette sonde inaugure une nouvelle catégorie de missions scientifiques de l'Agence spatiale européenne, dites flexibles, relativement peu onéreuses et devant être menées rapidement. Sa réalisation a été engagée en 1999, sous la maîtrise d'œuvre de Matra Marconi Space, en vue d'un lancement en juin 2003 et d'une mise en orbite martienne en décembre 2003. Sept instruments scientifiques (dont certains équipaient déjà la sonde Mars 96) seront embarqués sur le véhicule : une caméra stéréoscopique à haute résolution, qui fournira des images de la surface de Mars en relief et en couleurs, sur lesquelles on pourra distinguer des détails de 12 à 15 m ; des spectromètres dans l'ultraviolet, le visible et l'infrarouge, pour l'étude des gaz et des poussières de l'atmosphère ainsi que des matériaux de la surface martienne ; un détecteur de particules atomiques, pour tenter d'élucider les mécanismes qui ont conduit à la déshydratation de Mars ; et un radar altimètre, qui dressera une carte topographique de la surface martienne, mais surtout qui sondera le sous-sol de la planète pour y mettre en évidence les étendues de glace ou d'eau liquide. La sonde pourrait aussi emporter un atterrisseur britannique, Beagle 2, destiné à fournir des informations sur la chimie de la surface et de l'atmosphère martiennes. Par ailleurs, il est prévu que Mars Express serve de relais de télécommunications aux autres engins qui opéreront sur le sol martien entre 2004 et 2007.

Mars Geochimical Mapper. Sonde américaine d'étude de la planète Mars.
ENCYCL. Lancée en mars 2001, elle se mettra en orbite autour de Mars en décembre 2001 pour étudier la composition chimique et la minéralogie globale de la planète en principe jusqu'en décembre 2003, puis servir de relais de télécommunications pour d'autres sondes martiennes jusqu'en octobre 2006.

Mars Global Surveyor. Sonde américaine d'étude de la planète Mars.
ENCYCL. Lancée de cap Canaveral le 7 novembre 1996, cette sonde de 965 kg s'est satellisée autour de Mars le 11 septembre 1997 sur une orbite de 276 km de périastre et de 54 024 km d'apoastre. En utilisant ses panneaux solaires comme aérofreins (ce qui s'est révélé beaucoup plus délicat que prévu, une quantité inhabituelle de poussière ayant accru la densité de l'atmosphère), elle s'est ensuite rapprochée très lentement de la planète, pour se caler finalement en mars 1999 sur une orbite quasi polaire et circulaire à 380 km environ d'altitude. Munie de six instruments de recherche, d'une masse totale de 75 kg, elle procède notamment à une cartographie de la surface martienne, à l'aide d'une caméra à triple objectif (deux objectifs grand-angle et un téléobjectif dont les vues ont une résolution de l'ordre de 4 à 5 m seulement). Ses deux magnétomètres ont confirmé que le champ magnétique actuel de Mars est insignifiant, tout en découvrant par endroits les traces d'un champ magnétique ancien, figé dans le sous-sol, qui suggèrent que la planète a connu un champ magnétique puissant à une époque de son histoire.

Mars Lander 2001. Sonde américaine d'étude de la planète Mars.
ENCYCL. Lancée en mars 2001, elle déposera sur Mars en décembre 2001 un atterrisseur

et l'astromobile « Marie Curie » pour étudier la surface martienne in situ, en principe jusqu'à la fin de 2002.

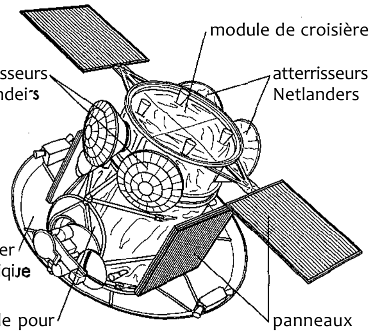
Mars Observer. Sonde américaine destinée à l'observation de la planète Mars.
ENCYCL. D'une masse de 769 kg, dont 96 kg d'instruments scientifiques, cette sonde, lancée par une fusée Titan 3 le 25 septembre 1992, devait se placer d'abord sur une orbite elliptique autour de Mars, inclinée de 92,8° sur l'équateur (orbite polaire) et décrite en 24 h, puis être transférée sur une orbite circulaire à 361 km d'altitude, décrite en 116 minutes. Sa charge utile comprenait huit instruments (spectromètres, radiomètres, magnétomètre, caméra...) destinés à étudier plus particulièrement la géologie et la climatologie martiennes. La sonde a malheureusement été perdue le 22 août 1993, juste avant sa mise en orbite autour de Mars, en raison de la rupture d'une canalisation de son système de propulsion.

Mars Pathfinder. Sonde américaine d'étude de la planète Mars.
ENCYCL. Lancée le 2 décembre 1996, elle s'est posée sur Mars le 4 juillet 1997 (jour anniversaire de l'indépendance américaine), en aval d'Ares Vallis, l'un des plus longs chenaux martiens, par 18,86 °N. et 33,84° O., au terme d'un vol direct, sans étape préalable de mise en orbite, et en plongeant dans l'atmosphère à une vitesse de 26 460 km/h avant d'être ralentie par un parachute (vers 10 km d'altitude), puis par trois rétrofusées. Lors de son arrivée au sol, elle était protégée par une grappe de 24 airbags (dégonflés ensuite), qui lui permirent de rebondir parmi les rochers avant de s'immobiliser. Elle s'est ensuite ouverte en trois « pétales », permettant, le 5 juillet, au petit robot automobile Sojourner* de descendre sur le sol martien, par une rampe inclinée. La plate-forme d'atterrissage était munie de deux caméras montées sur des mâts télescopiques et fournissant des images stéréoscopiques en couleur, d'un mât porteur d'instruments météorologiques, et d'un émetteur radio ; elle relayait les communications entre Sojourner et la Terre. Interrompu le 28 septembre, le contact radio entre la plate-forme et la Terre a été définitivement perdu le 7 octobre, sans doute en raison de l'épuisement des batteries de la sonde. Cette mission avait essentiellement un rôle d'éclaireur, pour tester de nouvelles technologies et préparer une nouvelle vague d'exploration de Mars.

Mars Polar Lander. Sonde américaine d'étude de la planète Mars.
ENCYCL. Lancée le 3 janvier 1999, elle doit atterrir sur Mars le 3 décembre 1999, à proximité du pôle Sud, protégée par un bouclier thermique et freinée par des parachutes et par des rétrofusées, après avoir largué deux pénétrateurs conçus pour se planter dans le sol jusqu'à 2 m de profondeur et l'analyser au laser (si possible pendant plusieurs jours) pour y mesurer la concentration en glace. Son atterrissage est prévu par 75° de latitude Sud, dans une région que l'on pense riche en sédiments déposés au fil des avancées et des retraits de la calotte glaciaire. Munie d'une pelle mécanique de 2 m de long, la sonde creusera dans le sol de petites tranchées qui seront ensuite photographiées par une caméra dotée d'un objectif macro, faisant office de loupe, pour tenter de mettre en évidence la stratification du terrain. Les spécialistes espèrent ainsi pouvoir retracer l'histoire climatique de Mars au cours des derniers millénaires. Un dispositif d'analyse permettra, en outre, de préciser la nature et la quantité d'éléments volatils présents dans les échantillons prélevés par la pelle. Enfin, la sonde mesurera la température, la pression, la direction et la vitesse du vent, ainsi que la teneur de l'atmosphère en aérosols et en poussières. On espère qu'elle fonctionnera jusqu'au mois de mars de l'an 2000.

Mars Sample Return. Programme de sondes d'exploration de la planète Mars engagé par la NASA, en collaboration avec d'autres agences spatiales, en vue du retour sur la Terre d'échantillons du sol martien.
ENCYCL. Le programme Mars Sample Return, auquel la France participe activement, se déroulera en deux temps :
- en mai 2003, aura lieu le lancement, par une fusée américaine Delta 3, d'un atterrisseur de 1,8 t, emportant un astromobile *(rover)* de 50 kg, un véhicule de satellisation (MAV : Mars Ascent Vehicle) de 120 kg doté

Orbiteur "**Mars Sample Return**"



d'un propulseur à poudre à trois étages, et une charge utile scientifique. Après son dépôt sur le sol martien, onze mois plus tard, l'astromobile effectuera des boucles autour de l'atterrisseur pour collecter des échantillons, tant à la surface qu'en effectuant des forages jusqu'à un ou deux mètres de profondeur ; à chaque boucle, les échantillons seront déposés dans le MAV de l'atterrisseur. Une fois la mission de l'astromobile achevée, le MAV sera mis à feu et placera en orbite autour de Mars, à 600 km d'altitude, un conteneur métallique de 15 cm de diamètre, pesant 3,6 kg, contenant les précieux échantillons ;

- en août 2005, aura lieu le lancement, par une fusée Ariane 5 fournie par la France, d'un atterrisseur américain et d'un orbiteur français à deux étages. Identique au précédent, l'atterrisseur (porteur d'un astromobile) accomplira la même mission, mais en un site martien différent, à partir de juillet 2006. L'orbiteur, de 2,7 t (dont 11 d'ergols), aura deux missions essentielles : il emportera quatre petites sondes Nedander qui seront larguées successivement sur Mars pour constituer un réseau de stations de mesure (magnétomètres, séismomètres, capteurs météorologiques, etc.) à la surface de la planète ; après son insertion en orbite martienne, il localisera les conteneurs d'échantillons, les récupérera et les transférera dans une capsule qui les rapportera sur la Terre. L'opération se déroulera en plusieurs phases, qui représentent un formidable défi technologique : l'orbiteur se placera d'abord, par aérocapture*, sur la même orbite que le conteneur lancé en 2003 ; puis, il le récupérera lors d'un rendez-vous guidé par laser et par radio. En octobre 2006, le second MAV sera alors mis à feu pour placer en orbite le second conteneur; ce dernier sera récupéré à son tour par l'orbiteur, au terme d'un nouveau rendez-vous orbital. En juillet 2007, l'orbiteur, muni de sa précieuse cargaison, commencera à revenir vers la Terre ; son arrivée au voisinage de notre planète est prévue en avril-mai 2008. L'orbiteur larguera alors dans l'atmosphère la petite capsule de 36 kg renfermant les échantillons, et celle-ci viendra se poser dans une zone désertique. A l'issue d'une période de quarantaine, au cours de laquelle on vérifiera qu'ils ne présentent aucune toxicité vis-à-vis de l'environnement terrestre, les échantillons seront attribués pour analyse à différents laboratoires.

Au-delà de ce programme, pourraient avoir lieu : en 2007, une réplique de la mission de 2003 et, en 2009, une réplique de la mission de 2005.

Mars Surveyor. Programme de sondes américaines destinées à l'étude de la planète Mars.

ENCYCL. Ce programme inclut les sondes Mars* Global Surveyor, Mars* Climate Observer, Mars* Polar Lander et un nouveau couple orbiteur/atterrisseur dont le lancement est prévu en mars/avril 2001 : l'atterrisseur déposera sur Mars, en janvier 2002, une réplique améliorée du véhicule Sojourner, dénommée *Marie Curie,* qui évoluera dans un rayon de quelques mètres ; l'orbiteur servira de relais de télécommunications avec la Terre et procédera à la télédétection minéralogique des régions qu'il survolera (à la recherche, notamment, de carbonates).

Mars 96. Sonde russe destinée à l'étude de la planète Mars, réalisée dans le cadre d'un programme de coopération internationale.

ENCYCL. Elle devait se placer en orbite basse autour de Mars pour étudier la planète et larguer à sa surface deux pénétrateurs et deux petites stations scientifiques. Les pénétrateurs, d'une durée de vie relativement brève, auraient étudié la composition chimique du sol ; les stations, conçues pour fonc-

tionner pendant une année terrestre, la physique àe la basse atmosphère et de l'intérieur de la planète. Mais, lors de son lancement, le 16 novembre 1996, le quatrième étage de la fusée porteuse Proton tomba en panne et la sonde se désintégra dans l'atmosphère au-dessus de l'Amérique du Sud.

Martin Marietta Astronautics Group. Groupe industriel américain, filiale de Martin Marietta Corporation, qui réunissait quatre firmes principales spécialisées respectivement dans la construction de systèmes de défense, de systèmes spatiaux civils, de systèmes stratégiques. Après avoir racheté en 1992 les activités aérospatiales de General Electric et en 1993 les fusées Adas de General Dynamics, il a fusionné en 1995 avec Lockheed -• **Lockheed Martin.**

mascon n.f. (mot angl., acronyme de *MASs CONcentration).* Concentration de matière, dans le sous-sol de certaines mers lunaires, se manifestant par un accroissement de l'intensité du champ de gravitation. Les *mascons* ont été découvertes grâce à l'étude précise de la trajectoire des engins satellisés autour de la Lune.

maser n.m. (sigle de *Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation). 1.* Amplificateur de micro-ondes par émission stimulée de rayonnement électromagnétique. **2.** *Maser cosmique :* phénomène se produisant dans certaines enveloppes stellaires et dans des nuages moléculaires, qui consiste en une forte amplification des émissions de rayonnement micro-ondes de molécules particulières par des processus naturels analogues à ceux exploités dans les lasers.

ENCYCL. Le maser peut être utilisé en radioastronomie comme un excellent amplificateur incorporé dans le système de détection des signaux extrêmement faibles provenant des radiosources.

Le premier maser cosmique a été observé en 1965 dans la nébuleuse d'Orion et concernait le rayonnement émis par des molécules OH (hydroxyles).

Maskelyne (Nevil), astronome anglais (Londres 1732-Greenwich 1811).

Nommé Astronome Royal, directeur de l'observatoire de Greenwich en 1765, il fonda en 1767 le *Nautical Almanac.* Par des mesures de la déviation du fil à plomb sur une montagne d'Écosse (1774), il s'efforça de déterminer la valeur de la constante de gravitation et put évaluer la densité moyenne de la Terre.

masse cachée -» matière noire

masse manquante -*- matière noire

masse n.f. Quantité de matière contenue dans un corps matériel. *Relation masse-luminosité,* relation entre la masse et la luminosité des étoiles.

ENCYCL. Prévue dès 1917 par Eddington, la relation masse-luminosité a été vérifiée expérimentalement à partir de 1924. Il existe en fait des relations différentes selon le type* spectral de l'étoile : la luminosité est proportionnelle au carré de la masse pour les étoiles les moins lumineuses de type spectral compris entre G4 et M, et à la puissance quatrième de la masse pour les étoiles les plus lumineuses, de type spectral compris entre 0 et GO. Inversement, la connaissance du type spectral d'une étoile et de l'énergie totale qu'elle émet (déduite de la mesure de sa luminosité apparente et de sa distance) permet d'en déduire la masse.

Mâstlin (Michael), astronome et mathématicien allemand (Gôppingen, Wurtemberg, 1550-Tiibingen 1631).

Professeur de mathématiques, à Heidelberg (1580) et à Tiibingen (1584), il enseigna l'astronomie à Kepler, qu'il convertit aux idées coperniciennes. Le premier, il donna une explication de la lumière cendrée de la Lune.

mât ombilical. Mât métallique qui supporte le faisceau de câbles et de canalisations souples reliant des dispositifs d'alimentation, de contrôle et de commande au sol à un véhicule spatial sur son aire de lancement.

Mathilde. Astéroïde de la ceinture principale d'astéroïdes, entre Mars et Jupiter. Diamètre : 60 km environ.

ENCYCL. La sonde américaine NEAR l'a sur-

volé à moins de 1 800 km de distance le 27 juin 1997, et a pu photographier 60 % de sa surface. Celle-ci se révèle particulièrement sombre, avec un pouvoir réflecteur de 3 % seulement. La densité de petits cratères y est analogue à celle observée sur Ida* et Gaspra*, deux astéroïdes ayant déjà fait l'objet d'un survol rapproché ; en revanche, le nombre de grands cratères d'impact a surpris les spécialistes : pas moins de cinq cratères de plus de 20 km de diamètre y ont été découverts.

matière noire ou **matière sombre.** Matière obscure dont on postule l'existence dans l'Univers.

ENCYCL. La présomption de l'existence de matière noire s'appuie sur plusieurs faits d'observation. Le premier, mis en évidence dès le début des années 30 par F. Zwicky*, concerne la dynamique des amas de galaxies. Un tel amas n'est stable que si l'attraction gravitationnelle mutuelle des masses qu'il renferme équilibre les mouvements qui tendent à disperser les galaxies. En mesurant ces mouvements (c'est-à-dire, en pratique. les vitesses des galaxies), on peut donc estimer la masse totale de l'amas. Celle-ci peut également être évaluée en additionnant les masses individuelles des galaxies de l'amas, déduites de la luminosité de ces galaxies (elle-même liée à la quantité d'étoiles).

Or, la première méthode fournit une masse toujours environ dix fois supérieure à la seconde. Il faut donc admettre que les neuf dixièmes de la masse des amas de galaxies sont formés de matière invisible. Une partie de cette matière n'est autre que du gaz très chaud réparti entre les galaxies et mis en évidence depuis quelques années par ses émissions de rayonnement X. La masse de ce gaz chaud est 2 à 3 fois supérieure à celle des étoiles, mais reste néanmoins insuffisante pour maintenir la cohésion des amas de galaxies.

Une autre preuve indirecte de la présence de matière noire vient de l'étude dynamique de galaxies isolées. Les galaxies spirales sont des systèmes aplatis de gaz et d'étoiles qui tournent sur eux-mêmes. Chaque point du disque de ces galaxies est en équilibre entre la force centrifuge due à la rotation et l'attraction gravitationnelle des régions situées plus près du centre de la galaxie. Or, on constate que la vitesse de rotation, lorsqu'on s'écarte du centre, cesse de décroître à partir d'une certaine distance et reste à peu près constante, même dans les régions où l'on n'observe pratiquement plus d'étoiles, mais seulement du gaz. Cela implique la présence de matière obscure au-delà des limites du disque observable de la galaxie. Cette matière peut se trouver soit dans un halo plus ou moins sphérique entourant la galaxie, soit dans un disque épais concentrique à celui que l'on observe. La présence de matière noire est également invoquée dans les théories qui tentent d'expliquer comment se sont formées les galaxies à la suite du Big* Bang.

NATURE DE LA MATIÈRE NOIRE. Différentes hypothèses ont été avancées concernant la nature de la matière noire. Les unes invoquent de la matière ordinaire, dite *baryonique,* constituée de particules ayant une masse au repos, les baryons (protons, neutrons, électrons) ; les autres de la matière hypothétique, dite *non baryonique,* dont l'énergie peut produire des effets gravitationnels analogues à ceux de la masse selon la théorie de la relativité*. La matière noire baryonique pourrait être constituée d'étoiles de faible masse (inférieure à quelques dixièmes de la masse du Soleil), en particulier de naines* brunes. Ces objets seraient répartis en halo autour des galaxies et sont couramment désignés sous le nom de *MACHO* (sigle de l'anglais *Massive Astronomical Compact Halo Objects).* Quelques objets de ce type semblent avoir été détectés autour de notre galaxie par l'effet de microlentille* gravitationnelle qu'ils produisent sur la lumière des étoiles du Grand Nuage de Magellan*, mais des observations du télescope spatial Hubble* prouvent que leur nombre doit être assez limité. II n'est pas exclu que la matière noire baryonique se présente aussi sous la forme de grands nuages de gaz moléculaire froid.

Quant à la matière noire non baryonique, elle serait formée de particules subatomiques massives n'interagissant que faiblement avec la matière ordinaire (donc, très difficiles à détecter), les WIMP (sigle de l'anglais *Weakly Massive Interacting P articles).*

Matra Marconi Space. Société de construction spatiale franco-britannique.
ENCYCL. Créée en 1990, elle regroupe les activités spatiales du groupe français Lagardère et du groupe britannique GEC. Elle emploie 4 500 personnes, pour moitié en France et pour moitié au Royaume-Uni. Elle a réalisé, en 1998, un chiffre d'affaires de 1 262 millions d'euros (8,3 milliards de francs). Ses activités s'exercent dans les domaines suivants : science et observation de la Terre, télécommunications, programmes militaires, lanceurs et infrastructures orbitales.
Dans le domaine des télécommunications, elle a obtenu la maîtrise d'œuvre d'une cinquantaine de satellites de télécommunications.

Dans le domaine de l'observation de la Terre, elle est maître d'œuvre des satellites SPOT*, dont la plate-forme est utilisée par les autres satellites européens d'observation de la Terre : ERS*, Envisat* et Metop*. Matra Marconi Space réalise aussi des instruments optiques, des radars embarqués et des segments sol associés.
Dans le domaine des satellites militaires, elle a réalisé tous les satellites européens en service : Hélios* 1, pour des missions de surveillance ; Skynet* 4 (Royaume-Uni) et NATO IV (OTAN) pour les télécommunications. La société est également maître d'œuvre de la composante sol utilisateur d'Hélios et fournit de nombreuses stations de télécommunications sol ou embarquées pour les forces armées d'une dizaine de pays.
Dans le domaine scientifique, elle a été maître d'œuvre des satellites européens Giotto*, Hipparcos* et Soho*, et a développé divers instruments, dont une caméra pour objets faiblement lumineux, pour le télescope spatial Hubble* ; elle fournira la sonde européenne Mars* Express.
Enfin, dans le domaine du transport spatial et. des infrastructures orbitales, Matra Marconi Space est responsable de la case à équipements des lanceurs Ariane* et participera, en tant que spécialiste de l'avionique et de l'informatique embarquée, aux éléments du programme européen de la Station spatiale internationale.

Mauna Kea (observatoire du). Observatoire international établi près du sommet du volcan éteint du Mauna Kea, dans l'île d'Hawaii, à 4 200 m environ d'altitude.
ENCYCL. C'est l'un des meilleurs sites au monde pour les observations astronomiques optiques et infrarouges. Il abrite notamment les télescopes Keck* (10 m d'ouverture équivalente) ; le télescope japonais Subaru* (8,3 m) ; le télescope international Gemini* Nord (8,1 m) ; des télescopes infrarouges du Royaume-Uni (UKIRT, 3,80 m d'ouverture) et de la NASA (IRTF, 3 m d'ouverture) ; un télescope franco-canadien (CFHT, 3,60 m d'ouverture), un télescope de l'université d'Hawaii (2,24 m d'ouverture) et un radiotélescope dédié à l'astronomie millimétrique (James Clerk Maxwell Telescope, 15 m de diamètre).

Maunder (Edward Walter), astronome britannique (Londres 1851- *id.* 1928).
Dès son entrée, en 1873, à l'observatoire de Greenwich, où se déroulera toute sa carrière, il y installa un service spécialisé dans la photographie journalière du Soleil. S'intéressant surtout aux taches solaires, il établit notamment, en s'appuyant sur les observations antérieures, que le Soleil avait été totalement dépourvu de taches entre 1645 et 1715 (d'où le nom de *minimum de Maunder* donné aujourd'hui à cette période). Avec sa femme Annie Russell et son frère Thomas, il a beaucoup fait pour le développement de l'astronomie populaire en Grande-Bretagne. Il fut l'un des fondateurs de la *British Astronomical Association* (1890).

Max Planck-Institut für Radioastronomie. Institut de recherche radioastronomique allemand dont le siège est à Bonn et qui exploite l'observatoire d'Effelsberg*.

Max-Planck-Institut für Astronomie. Institut de recherche astronomique allemand dont le siège est à Heidelberg et qui possède un observatoire à Calar Alto, en Espagne, équipé notamment d'un télescope de 3,50 m d'ouverture, mis en service en 1986.

Maxus. Fusée-sonde européenne fabriquée conjointement par la société suédoise Swedish Space Corporation et par la société allemande MBB-Erno pour des recherches en micropesanteur.

ENCYCL. Elle peut atteindre une altitude maximale de 1 000 km et offrir ainsi jusqu'à 15 minutes de micropesanteur. On prévoit notamment de l'utiliser pour des expériences de fusion de cellules et d'électrophorèse. Son premier vol réussi a eu lieu le 8 novembre 1992 (420 kg de charge utile emportés à 716 km d'altitude).

Maxwell (monts). Les plus hautes montagnes de Vénus, à l'extrémité est d'Ishtar Terra, qui culminent à 11 500 m au-dessus du niveau moyen de la planète. Coordonnées : 61°-67° N., 355°-10° O. Nom international : *Maxwell Montes.*

Maxwell (sillon de). L'une des divisions observées dans le système d'anneaux de Saturne, à l'intérieur de l'anneau C. Large de 270 km, il est situé à une distance moyenne de 87 500 km du centre de Saturne.

Mayall (télescope). Télescope optique de 4 m de diamètre mis en service en 1973 à l'observatoire de Kitt* Peak, aux États-Unis.

McDonald (observatoire). Observatoire américain, situé sur le mont Locke, près de Fort Davis (Texas), à 2 070 m d'altitude, et qui appartient à l'université du Texas.
ENCYCL. Il a été fondé en 1932, grâce à un legs d'un riche banquier et astronome amateur texan, William J. McDonald. L'instrument primitif, toujours en service, est un télescope de 2,08 m d'ouverture. En 1969 a été mis en service un télescope de 2,72 m de diamètre, et en 1997 le télescope Hobby*-Eberly, de 9,2 m d'ouverture. Parmi les autres instruments employés figure un télescope de 91 cm, installé en 1956, et un télescope de 76 cm (1970), dont le miroir primaire n'est autre que la partie centrale de celui du télescope de 2,08 m. Enfin, on a recours à un autre télescope de 76 cm pour la télémétrie laser (mesures de la distance Terre-Lune, en particulier) et une antenne de 5 m de diamètre permet des observations radioastronomiques dans le domaine des ondes millimétriques.

McDonnell Douglas Aircraft Corporation. Société de construction aérospatiale américaine issue de la fusion, intervenue en 1967, des deux firmes McDonnell Aircraft Corporation et Douglas Aircraft Company.
ENCYCL. Dans le domaine spatial, elle a été le principal constructeur des capsules Mercury* et Gemini*, a mis au point le troisième étage (S-IV B) de la fusée Saturn puis le laboratoire orbital Skylab* et réalise les lanceurs Thor ainsi que la gamme des lanceurs Delta* et que la fusée monoétage Delta* Clipper. Son siège est à Saint Louis (Missouri).

McMath (télescope solaire). Grand télescope solaire mis en service en 1962 à l'observatoire de Kitt* Peak, aux États-Unis.

mécanique céleste. Branche de l'astronomie qui étudie les mouvements des astres sous l'effet de la gravitation universelle.

mécanique spatiale. Branche de l'astronautique qui étudie les mouvements des engins spatiaux et s'applique à déterminer leurs orbites ou leurs trajectoires.

Méchain (Pierre François André), astronome et géodésien français (Laon 1744-Castellón de la Plana, Espagne, 1804).
Il fut l'élève de Lalande, qui l'aida à faire ses débuts en astronomie et le fit nommer, en 1772, astronome hydrographe du Dépôt des cartes de la marine. Entre 1780 et 1802, il découvrit 12 comètes, dont il calcula les orbites, ainsi que celles de 13 autres comètes, repérées par d'autres astronomes. Il compléta, par ailleurs, le catalogue des nébulosités célestes établi par Messier*.
De 1800 à 1804, il fut directeur de l'Observatoire de Paris, délégué par le Bureau des longitudes.

médecine spatiale. Science qui a pour objet l'étude et la protection de la santé des hommes et des femmes appelés à vivre et à travailler dans l'espace.
ENCYCL. Tout participant à une mission spatiale expose inévitablement son organisme à des situations de stress physique et psychologique que provoquent :
- les accélérations, les vibrations et le bruit du lanceur en fonctionnement ;

- l'impesanteur et une irradiation (solaire et cosmique) plus intense qu'au sol ;
- l'isolement et le confinement ;
- les décélérations lors du retour sur Terre.

L'absence de pesanteur qui caractérise tout séjour orbital est, pour l'organisme humain, une source de perturbations affectant principalement :
- le système cardio-vasculaire (qui se désadapte et est contraint de fonctionner dans des conditions inhabituelles) ;
- le système neurosensoriel (qui ne perçoit plus la verticale et dont les informations - d'origine vestibulaire, visuelle et proprioceptive - sont contradictoires) ;
- le système osseux (dont certains éléments se déminéralisent) ;
- le système musculaire (qui s'atrophie).

Néanmoins, l'organisme s'adapte mais en mettant en œuvre des mécanismes qui restent mal compris. Divers troubles, de gravité et de durée variables, apparaissent : il convient de les surveiller, d'en déterminer l'origine et d'en prévoir les conséquences, de les prévenir ou de les contenir dans des limites acceptables au moyen de contre-mesures (physiques ou pharmacologiques) ; tels sont les principaux objectifs de la médecine spatiale. Les interventions de la médecine spatiale peuvent avoir lieu :

- avant le vol, pour la sélection des spationautes, leur préparation physique, physiologique et psychologique, la définition précise de leurs conditions et cadre de vie (aménagement intérieur des vaisseaux, alimentation, sommeil, travail...), la mise au point d'un programme d'exercices physiques compensateurs (tapis roulant, bicyclette, caisson LBNP...), etc. Une place importante est tenue par les expériences de simulation de l'impesanteur (par alitement prolongé).
- pendant le vol, pour la surveillance médicale, depuis le sol, de l'équipage (qui, parfois, comprend un médecin) et sa préparation au retour en pesanteur terrestre. Les expériences les plus fréquemment effectuées à bord consistent en des prélèvements d'urine et de sang (à des fins d'analyse), des mesures de rythme cardiaque, de débit sanguin, de poids, de flux d'irradiation, etc. Des électrocardiogrammes peuvent être réalisés ainsi que diverses expériences sur la posture, l'orientation, le contrôle du mouvement des yeux et de la tête, l'aptitude à l'effort, etc. ;
- au retour sur Terre, pour l'assistance médicale immédiate des spationautes qui retrouvent la pesanteur terrestre (dangereuse pour l'organisme déconditionné), puis durant la période de réadaptation, avec de nombreux examens (par exemple de densité osseuse) qui complètent ceux réalisés avant ou pendant le vol.

Les résultats obtenus par la médecine spatiale intéressent :
- la recherche appliquée, avec le souci de donner la meilleure protection aux spationautes en orbite, de leur permettre d'y vivre dans des conditions confortables et d'y travailler avec le maximum d'efficacité ;
- la recherche technologique, qui profite de l'instrumentation et des techniques développées pour l'espace et en fait bénéficier la médecine terrestre ;
- la recherche fondamentale, dont l'objectif est une meilleure compréhension et connaissance du corps humain, **SYN. :** *mal de l'espace*

mégalithe n.m. Monument préhistorique formé d'un ou de plusieurs blocs de pierre.
ENCYCL. Selon l'astronome britannique Alexander Thom, un grand nombre de monuments mégalithiques auraient servi à l'observation des phases et des mouvements de la Lune. En particulier, les alignements de Carnac (Morbihan) auraient fait partie d'une sorte d'immense observatoire destiné à viser les levers et couchers du Soleil et de la Lune pour permettre de prédire les éclipses. Le point central de cet ensemble aurait été le grand menhir brisé de Locmariaquer, qui aurait constitué un cran de mire pour un grand nombre de visées lointaines depuis des points remarquables situés à plusieurs kilomètres. Le célèbre monument mégalithique de Stonehenge, dans le sud de l'Angleterre, avait peut-être aussi un rôle astronomique.

mégaparsec n.m. Unité de distance utilisée en astronomie extragalactique, égale à un million de parsecs (symbole : Mpc).

Men. Abréviation de *Mensa,* désignant la constellation de la Table.

Men. Étoile a du Loup. Magnitude apparente visuelle : 2,3. Type spectral : B2.

mensa (mot latin ; pl. *mensae*) n.f. Éminence de terrain en forme de table, dans la nomenclature internationale du relief des surfaces planétaires.

Mensa(-ae). Nom latin de la constellation de la Table (abrév. *Men).*

Méphisto (abréviation de Matériel pour l'Étude des Phénomènes Intéressant la Solidification sur Terre et en Orbite). Projet franco-américain (associant le CEA, le CNES et la NASA) d'expérience de solidification d'alliages en micropesanteur.
ENCYCL. L'instrument (un four à gradient thermique) a participé à quatre missions de la navette américaine, en 1992, 1994, 1996 et 1997.

mer (lunaire) n.f. Vaste étendue plane, sombre, de la surface lunaire, constituée de roches basaltiques **Lune**

Mérak (de l'arabe *merak al-dubb alakbar,* « les reins du grand ours », par allusion à sa position dans la constellation). Étoile p de la Grande Ourse. Magnitude apparente visuelle : 2,3. Type spectral : AO. Distance : 80 années de lumière.

Merbold (Ulf), physicien et astronaute allemand (Greiz 1941).
Il vole à bord de l'orbiteur *Columbia,* lors de la mission STS-9, en novembre-décembre 1983, et devient alors le premier astronaute de l'ESA à aller dans l'espace en même temps que le premier étranger à participer à une mission spatiale américaine. Il retourne dans l'espace en janvier 1992, à bord de l'orbiteur *Discovery* en tant que spécialiste charge utile pour la première mission internationale de recherches en micropesanteur, IML 1. En 1994, il accomplit son troisième vol spatial comme membre de l'équipage de la mission EuroMir* 94 ; il séjourne alors un mois à bord de la station russe Mir* et ravit à cette occasion à J.-L. Chrétien* le titre de spationaute européen ayant effectué le plus long vol dans l'espace.

Mercure. Planète du système solaire, la plus petite des planètes telluriques et la plus proche du Soleil.
ENCYCL. Grâce à son éclat, qui rivalise avec celui des étoiles les plus brillantes, Me/cure fut repérée dès l'Antiquité. Mais les Égyptiens crurent longtemps à l'existence de deux astres distincts, car Mercure apparaît tantôt à l'ouest, après le coucher du Soleil, tantôt à l'est, avant son lever. La planète ne s'écarte jamais à plus de 28° du Soleil ; au mieux, elle ne se lève que 2 h 15 min avant lui ou ne se couche que 2 h 15 min après lui. Elle n'apparaît donc qu'à proximité de l'horizon, dans une région du ciel souvent chargée de brumes, et ne se détache jamais sur un fond totalement sombre, restant toujours plus ou moins baignée dans les lueurs de l'aurore ou du crépuscule. Aussi son observation à l'œil nu est-elle généralement difficile. Les meilleures périodes pour l'observer correspondent aux époques de ses plus grandes élongations, le matin en octobre et novembre, ou le soir en avril, mai et juin, dans l'hémisphère Nord (c'est l'inverse dans l'hémisphère Sud).

En dépit des tentatives de cartographie effectuées depuis les observatoires terrestres à la fin du XIXe s. (Schiaparelli) et dans la première moitié du XXe (Antoniadi), les caractéristiques du relief de Mercure sont restées pratiquement ignorées jusqu'au survol de la planète par la sonde américaine Mariner 10, le 29 mars 1974, à une altitude de 705 km, le 21 septembre 1974, à une distance de 48 069 km, enfin le 16 mars 1975, à une altitude de 327 km seulement. Au total, la sonde a recueilli quelque 4 000 clichés de la planète couvrant 40 % de sa surface et dont la résolution varie entre 5 km et 100 m, certaines images montrant même des détails de 50 m seulement.

RELIEF La surface de Mercure offre une ressemblance frappante avec celle de la Lune. On y retrouve des régions montagneuses et de grands bassins, criblés de cratères météoritiques. Cependant, les zones comprises entre les cratères et les bassins sont beaucoup moins accidentées que sur la Lune, et les grands bassins sont plus rares, puisqu'on n'en compte qu'un seul de plus de 500 km de diamètre, contre cinq sur la Lune, dont la superficie totale est pourtant deux fois

CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES DE MERCURE

Diamètre équatoriai	4 880 km (0,382 fois celui de la Terre)
Aplatissement	o
Masse par rapport à celle de la Terre	0,055
Densité moyenne	5,43
Accélération de la pesanteur à l'équateur	0,37 fois celle de la Terre
Vitesse de libération	4,25 km/s
Période de rotation sidérale	58 j 15 h 38 min
Inclinaison de l'équateur sur l'orbite	o°
Albédo	0,055

CARACTÉRISTIQUES ORBITALES DE MERCURE

Demi-grand axe de l'orbite	58 000 000 km, soit 0,387 1 ua
Distance maximale au Soleil	69 700 000 km
Distance minimale au Soleil	45 900 000 km
Excentricité	0,206
Inclinaison sur l'écliptique	7° 00'
Période de révolution sidérale	87,969 j
Vitesse orbitale moyenne	47,89 km/s
Période de révolution synodique	115,9 j
Distance maximale à la Terre	220 000 000 km
Distance minimale à la Terre	80 000 000 km

moindre. Par ailleurs, on observe très peu de cratères de dimensions importantes, supérieures à 20 ou 50 km.

Comme sur la Lune, on remarque des failles rectilignes, parfois très longues, qui coupent la plupart des autres formations topographiques sans être déviées. Mais on observe aussi, dans les plaines séparant les cratères, des escarpements sans équivalent sur la Lune ni sur Mars. Ce sont des falaises, dont l'altitude peut atteindre 2 000 à 3 000 m et la longueur plusieurs centaines de kilomètres ; elles semblent dues à de violents mouvements tectoniques. La structure la plus spectaculaire est un vaste bassin d'impact qui n'est pas sans rappeler la mer Orientale sur la face arrière de la Lune. Les astronomes lui ont donné le nom de *Planitia Calons* (« bassin de la Chaleur »), parce qu'il fait face au Soleil une fois sur deux lorsque Mercure passe à son périhélie, et, de ce fait, connaît une température très élevée. Son diamètre atteint 1 350 km et il est entouré d'un triple anneau montagneux de quelque 2 000 m d'altitude.

STRUCTURE INTERNE. La densité moyenne de Mercure (5,44) est très élevée pour sa taille : celle de la Terre est comparable (5,52) mais serait plus faible de 20 % sans l'effet de compression dû à la forte gravité. Cette forte densité implique l'existence d'un très volumineux noyau métallique (à base de fer) : celui-ci occuperait 42 % du volume de la planète et représenterait près de 80 % de sa masse (contre 30 et 15 % respectivement dans le cas de la Terre).

ATMOSPHÈRE, TEMPÉRATURES. Tout comme la Lune, Mercure est pratiquement dépourvue d'atmosphère, en raison de sa faible taille et de l'absence d'activité interne. Son atmosphère se réduit à un flux modeste de gaz légers (hydrogène, hélium), apportés en permanence par le vent solaire, et de gaz inertes (argon, néon), résultant probablement d'un dégazement du sol sous l'action de minéraux radioactifs. Une atmosphère aussi ténue entraîne des écarts considérables de température entre le jour et la nuit à la surface de la planète. Le radiomètre infrarouge de Mariner 10 a mesuré jusqu'à 300 °C, mais on estime qu'à midi, heure locale, à l'équateur, lorsque Mercure se trouve à sa

distance minimale du Soleil, la température peut dépasser 400 °C. En revanche, la nuit, lorsque la planète se trouve à sa distance maximale au Soleil, elle tombe à -170 °C, ce qui donne une amplitude thermique de l'ordre de 600 °C, environ deux fois supérieure à celle, déjà considérable, que l'on relève sur la Lune.

CHAMP MAGNÉTIQUE. L'une des grandes révélations de Mariner 10 a été la mise en évidence, autour de Mercure, d'un champ magnétique propre à la planète. Dipolaire, celui-ci est incliné de 12° par rapport à l'axe de rotation de Mercure et son intensité est environ 100 fois plus faible que celle du champ terrestre. Son existence conforte l'hypothèse de la présence d'un volumineux noyau métallique à l'intérieur de la planète. Il détermine autour de Mercure, comme autour de la Terre mais à une échelle bien plus réduite, une magnétosphère, dont Mariner 10 a pu observer l'onde de choc, très proche de Mercure du côté du Soleil en raison de la pression du vent solaire et de la faible valeur du champ magnétique. L'intensité de ce champ n'est pas suffisante pour que l'on observe autour de Mercure des ceintures de rayonnement comparables à celles qui enveloppent la Terre.

EXPLORATION FUTURE. Un regain d'intérêt pour Mercure se manifeste depuis que certaines observations effectuées au radar à partir de la Terre suggèrent la présence de glace dans les régions polaires de la planète. L'Agence spatiale européenne projette de lancer au début du siècle prochain (Mercury Orbiter) une sonde chargée d'étudier et de photographier Mercure depuis une orbite polaire. Aux Etats-Unis, un projet analogue d'orbiteur polaire (pour cartographier la surface et effectuer des mesures du magnétisme) a été proposé à la NASA, concurremment à celui d'une simple sonde de survol de la planète. Le Japon envisage aussi de lancer, en 2005, une sonde vers Mercure.

Mercury. Premier programme américain de vols spatiaux humains.

ENCYCL. La cabine Mercury fut conçue et réalisée entre 1958 et 1960 pour pouvoir être satellisée par un missile intercontinental Atlas. Compte tenu de la charge utile relativement faible de la fusée, cette cabine était beaucoup plus légère (1 350 kg) que son concurrent soviétique, le Vostok* (4 500 kg). En dépit de cette légèreté, elle pouvait emporter un passager dans l'espace et le faire revenir sur Terre d'une manière entièrement automatique. Son autonomie était toutefois limitée à un jour et demi (contre une semaine pour le Vostok) et elle devait se poser en mer, alors que le vaisseau soviétique atterrissait sur la terre ferme. La cabine Mercury avait la forme d'un cône tronqué, avec à sa base un ensemble de trois rétrofusées lui permettant de quitter sa trajectoire orbitale pour rentrer dans les couches denses de l'atmosphère, et un bouclier thermique en résine la protégeant pendant la traversée de celles-ci. L'astronaute était assis avec le bouclier thermique derrière lui, et il disposait de commandes manuelles pour orienter son véhicule dans l'espace et mettre à feu les rétrofusées.

Deux vols suborbitaux d'une durée d'un quart d'heure environ, culminant à quelque 185 km d'altitude, ont d'abord été effectués en 1961 en utilisant une petite fusée Redstone comme lanceur : le premier eut lieu le 5 mai avec Alan Shepard à bord ; le second, le 21 juillet avec Virgil Grissom comme astronaute. Les vols orbitaux commencèrent en 1962 avec John Glenn (20 février, durée 4 h 55 min), Scott Carpenter (24 mai, durée 4 h 56 min) et Walter Schirra (3 octobre, 9 h 13 min). Le programme s'acheva en 1963 avec une mission plus longue de Gordon Cooper (15 mai, 34 h 20 min), après avoir atteint son principal objectif : montrer que l'homme pouvait vivre dans l'espace. John Glenn fut le premier astronaute américain à accomplir un vol orbital, dix mois après Iouri Gagarine.

Mercury Orbiter. Projet de sonde spatiale destinée à se placer en orbite autour de Mercure, proposé comme troisième mission de taille moyenne du programme scientifique Horizon* 2000 de l'Agence spatiale européenne.

ENCYCL. Lancée par Ariane 5, cette sonde de 1,6 t serait dotée d'une caméra pour photographier les 60 % de la surface de Mercure qui n'ont pu l'être par la sonde Mariner* 10.

Elle emporterait aussi des instruments destinés à l'étude de la magnétosphère de la planète et de la composition chimique de sa surface. Un petit atterrisseur pourrait éventuellement être fourni par une autre agence spatiale.

méridien n.m. 1. Lieu des points ayant une même longitude à la surface de la Terre. On appelle *méridien origine* ou *méridien international* le méridien de l'ancien observatoire royal de Greenwich*, choisi conventionnellement comme origine des longitudes. 2. En un lieu donné, plan vertical qui contient l'axe du mode. On dit aussi *flan méridien.* 3. En un lieu donné, demi-grand cercle de la sphère céleste limité aux pôles et passant par le zénith. 4. À la surface d'un astre en rotation, trace d'un demi-plan issu de l'axe de rotation. *Méridien central d'un astre :* trace à la surface de cet astre du demi-plan issu de son axe de rotation qui passe par l'observateur. *Méridien principal d'un astre :* méridien origine des longitudes sur cet astre.

méridien, enne adj. (du latin *meridies,* midi). Se dit d'une direction, d'un axe nord-sud. *Cercle méridien* ou *lunette méridienne :* instrument constitué essentiellement d'une lunette astronomique, dont le seul degré de liberté est une rotation autour d'un axe horizontal est-ouest (**SYN. :** *instrument [ou lunette] des passages.) Instrument méridien :* instrument conçu pour effectuer des observations méridiennes. *Observation méridienne :* observation effectuée dans le plan méridien d'un lieu pour déterminer l'instant du passage d'un astre dans ce plan et/ou la hauteur (ou la distance zénithale) de l'astre à cet instant. Les observations méridiennes jouent un rôle fondamental en astrométrie, pour l'établissement des catalogues d'étoiles de référence. *Plan méridien :* synonyme de méridien.

méridienne n.f. Cadran solaire indiquant l'heure de midi. *Méridienne d'un lieu :* ligne d'intersection du plan méridien et du plan horizontal de ce lieu. *Méridienne de temps moyen :* courbe en forme de 8, lieu des points indiquant midi en temps moyen local, aux différentes dates de l'année, sur un cadran solaire.

MERLIN (sigle de l'angl. *Multi-Element Radio Linked Interferometer Network).* Réseau de radiotélescopes installés en différents points du Royaume-Uni, dont l'exploitation est assurée depuis Jodrell Bank par l'université de Manchester. Ce réseau est utilisé pour l'interférométrie à longue base et peut être connecté à d'autres antennes ou à d'autres réseaux pour effectuer de l'interférométrie à très longue base. **VLBI**

Messerschmitt - Bölkow - Bloehm (MBB). Société de construction aérospatiale allemande issue de la fusion, intervenue en 1968, de la société Messerschmitt-Werke-Flugzeug-Union Süd, dont les origines remontent à la Messerschmitt Flugzeugbau, fondée à Bamberg en 1923 par Willy Messerschmitt, et de la société Bôlkow-Entwicklungen, fondée à Stuttgart en 1956 par Ludwig Bölkow, puis de l'absorption, en 1970, de la firme Bloehm ; depuis 1989, c'est l'une des filiales de Deutsche* Aerospace.

ENCYCL. MBB a été, notamment, premier contractant du Spacelab* et de la plateforme Eureca* ; elle est responsable du 2e étage, des propulseurs d'appoint à liquides et de la chambre de combustion du 3e étage d'Ariane* 4 ; elle développe des générateurs solaires, des systèmes de commande d'attitude ou d'orbite, des systèmes de stabilisation « trois axes », des systèmes thermiques et des structures pour de nombreux satellites, des charges utiles scientifiques ou d'applications, des stations de communications ou de télémesure, etc. Elle procède enfin aux études de définition de la navette hypersonique biétage Sànger*.

Messier (Charles), astronome français (Badonviller 1730 - Paris 1817).
Infatigable observateur du ciel, il découvrit 16 comètes et en observa plus de 40, ce qui lui valut d'être surnommé « le Furet des comètes » par Louis XV.
Mais il reste surtout célèbre pour son *Catalogue des nébuleuses et des amas d'étoiles,* publié initialement dans les Mémoires de l'Académie des sciences pour 1771 et complété ensuite à plusieurs reprises. Celui-ci décrit une centaine d'objets galactiques ou extragalactiques que l'on désigne aujour-

d'hui par la lettre M suivie de leur numéro d'ordre dans le catalogue.

Métagalaxie n.f. Ensemble de l'Univers observable.

métal n.m. En astrophysique, tout élément plus lourd que l'hélium.

métallurgie spatiale. Branche de la recherche spatiale qui étudie le comportement de divers métaux ou alliages, à l'état liquide ou en cours de solidification, en micropesanteur. **SYN** : *science des matériaux*

Meteor Crater. Le plus grand cratère météoritique connu à la surface de la Terre, à 30 km à l'ouest de Winslow, dans le sud du plateau du Colorado, en Arizona.
ENCYCL. Son diamètre dépasse 1 200 m et sa profondeur atteint quelque 180 m, ses remparts dominant de 60 m la plaine environnante. On évalue son âge à 50 000 ans environ. Il a été découvert en 1891, mais son origine météoritique n'est unanimement admise que depuis 1960.

Meteor. Satellites météorologiques soviétiques lancés depuis 1969 et qui constituent un réseau opérationnel de météorologie spatiale, exploité par le Service hydrométéorologique de la Russie.
ENCYCL. D'une masse voisine de 2 t, ces engins évoluent entre 600 et 900 km d'altitude sur des orbites quasi polaires, en photographiant continûment la couche nuageuse dans les domaines des rayonnements visible et infrarouge. Des satellites de première génération, Meteor 1, ont été lancés de 1969 à 1977 et des satellites d'un type plus avancé, Meteor 2, depuis 1977. À partir de 1981, certains Meteor 2 ont été utilisés comme plates-formes expérimentales de télédétection des ressources terrestres, à la manière des satellites américains Landsat. Une troisième génération de Meteor a été introduite en 1985. Ces Meteor 3 sont lancés sur des orbites sensiblement plus hautes (de l'ordre de 1 200 km d'altitude) pour couvrir une région du globe plus étendue.

météore n.m. (du grec *meteôra*, les espaces, les phénomènes célestes). Phénomène lumineux qui résulte de la traversée de l'atmosphère terrestre par un corps solide venant de l'espace, **SYN** : *étoile filante*
ENCYCL. Certains météores paraissent émaner d'un même point de la sphère céleste, le radiant. Ils constituent les essaims. D'autres n'ont pas de direction privilégiée ; ce sont les météores sporadiques. Les hauteurs auxquelles apparaissent puis disparaissent les météores dépendent notamment de leur masse et de leur vitesse à leur entrée dans l'atmosphère. En général, l'apparition se produit à 100 ou 110 km de hauteur et l'extinction à 70 ou 80 km.

météorique adj. Relatif à un météore ou à des météores.

météorite n.f. Fragment d'astéroïde ou de noyau cométaire circulant dans l'espace interplanétaire, ou considéré après sa chute à la surface d'une planète, et notamment de la Terre.
ENCYCL. L'authenticité des pierres tombées du ciel ne fut acceptée qu'en 1803, lorsqu'une chute spectaculaire se produisit, le 26 avril, au-dessus de L'Aigle (Orne). Trois mille fragments pierreux arrivèrent au sol, quelques-uns pesant jusqu'à 10 kg. On a retrouvé depuis, en divers points du globe, des météorites beaucoup plus importantes ; la plus grosse, celle de Hoba, en Namibie, pèse 60 t.
On divise les météorites en trois grandes classes : les sidérites, qui contiennent principalement du fer et du nickel, mélangés à de petites quantités de minéraux ; les météorites pierreuses, composées surtout de silicates ; les sidérolithes (ou lithosidérites), contenant en quantités à peu près égales du fer-nickel et des silicates.
Les météorites pierreuses se divisent en chondrites* et achondrites, suivant qu'elles contiennent ou non des chondres, petites inclusions sphériques de silicates inconnues dans les roches terrestres.
On distingue aussi : les météorites différenciées, qui ont été fondues dans leur corps d'origine, subissant une modification de structure et de composition chimique ; et les météorites non différenciées, qui ont conservé leurs caractéristiques primitives.
L'Antarctique se prête bien à la recherche

LES PLUS GROSSES MÉTÉORITES RETROUVÉES

Lieu	Masse (t)	Année de découverte
Hoba (Afrique du Sud)	60	1920
Ahnighito Cape York (Groenland)	31	1894
Chingo (Chine)	30	P
Bacubirito (Mexique)	27	1863
Mbosi (Tanzanie)	25	1930
Armanty(Mongolie)	20	?
Agpalilik (Groenland)^	17	1963
Willamette (Oregon, É.-U.)	15	1902
Chapaderos (Mexique)	14	1852
Otumpa (Argentine)	13,6	1783
Mundrabilla (Australie)	12	1966
Morito (Mexique)	11	1600

des météorites : celles-ci, après leur chute, sont transportées par les mouvements de la glace vers les marges du continent et se concentrent dans des zones bien délimitées dont le relief forme une barrière pour la glace. Depuis 1969, quelque 10 000 échantillons de météorites ont été récoltées sur la banquise antarctique par des expéditions polaires, principalement américaines et japonaises ; certaines sont sans doute des morceaux provenant d'un même objet qui s'est fragmenté lors de l'impact. En définitive, ces échantillons correspondraient à plus d'un millier de météorites différentes, qui viennent s'ajouter aux quelque 2 600 météorites recueillies sur le reste de la Terre.

On a mis aussi en évidence quelques spécimens qui s'apparentent aux roches lunaires ou martiennes et qui pourraient être des fragments du sol de la Lune ou de Mars éjectés à la faveur d'impacts d'astéroïdes. → **SNC.** Parmi les météorites les plus remarquables figurent les chondrites carbonées, qui constituent les spécimens les plus primitifs. À cette variété appartient notamment la météorite Allende*. Les analyses révèlent dans ces météorites la présence d'acides aminés, mais ceux-ci ne présentent pas l'asymétrie optique des constituants correspondants d'origine biologique, et plusieurs sont même absents chez les organismes vivants, ce qui témoigne de leur origine extraterrestre. En outre, on trouve dans ces météorites des inclusions renfermant des éléments chimiques qui présentent des différences de composition isotopique par rapport à celle qui est observée sur la Terre.

LE BOMBARDEMENT MÉTÉORITIQUE. On estime que la Terre balaie chaque année sur son orbite plus de 200 000 t de matière météoritique, dont 1/100 environ seulement parviendrait au sol. Lorsqu'elles explosent dans l'atmosphère, les grosses météorites peuvent engendrer des pluies de fragments. Celles qui parviennent au sol y creusent des cratères d'impact : le plus grand connu sur la Terre est le Meteor Crater, dans l'Arizona, qui a 1 200 m de diamètre. La surface des astres du système solaire dépourvus d'atmosphère (comme la Lune) porte la marque du bombardement météoritique intensif qu'elle a subi depuis sa formation. Sur la Terre, les processus de sédimentation et d'érosion contribuent à effacer progressivement les cratères météoritiques.

LES RISQUES DE COLLISION. Au début de l'ère spatiale, on s'est *beaucoup* préoccupé des conséquences de la collision éventuelle d'un engin spatial avec des météorites. De nombreux satellites (Explorer 3, 13, 16 et 23 ; Vanguard 3 ; Pegasus 1,2 et 3 ; Spoutnik 3...) furent chargés de mesurer la densité du flux de météorites dans l'environnement terrestre. Ces mesures ont montré que les météorites ne constituent pas un véritable danger pour les véhicules spatiaux : en orbite basse autour de la Terre, un satellite ayant une surface frontale de 1 m² ne risque, en moyenne, d'entrer en collision avec une mé-

téorite de 1 mm de diamètre (dimension minimale susceptible d'occasionner un dommage catastrophique) qu'une fois tous les 100 ans.

météorifique adj. 1. Relatif à une météorite ou à des météorites. **2.** *Cratère météoritique :* dépression creusée à la surface d'un astre par une météorite.

météorologie spatiale. Ensemble des activités de la météorologie qui mettent en œuvre des systèmes spatiaux.

ENCYCL. Le premier satellite météorologique, TIROS* 1, a été lancé par les États-Unis le 1er avril 1960. Depuis, plusieurs dizaines de satellites dévolus à l'observation et à la recherche météorologiques ont été mis en orbite autour de la Terre : satellites américains TIROS, Nimbus*, ESSA*, NOAA*, SMS, GOES* ; satellites russes Meteor* ; satellites européens Météosat*, etc.

Ils se répartissent en deux catégories : des satellites géostationnaires, qui conservent une position pratiquement fixe par rapport à la Terre, à quelque 36 000 km d'altitude, permettant l'observation continue d'une région très étendue, mais toujours la même ; et des satellites à défilement, généralement placés en orbite quasi polaire, héliosynchrones, entre 600 et 900 km d'altitude, qui survolent de manière répétitive l'ensemble du globe en repassant toujours à la même heure solaire au-dessus d'une région donnée. Les satellites météorologiques géostationnaires ont pour mission principale la surveillance des phénomènes à développement rapide (orages, cyclones, nappes de brouillard) et la mesure de leurs déplacements. Ils fournissent également la seule base de données disponible pour l'étude du rôle de la couverture nuageuse à l'échelle mondiale. Ils ont enfin une mission accessoire de collecte de données émanant de plates-formes de mesures situées dans des zones d'accès difficile. L'Organisation météorologique mondiale (OMM) a recommandé en 1979 un système composé de cinq satellites géostationnaires répartis autour au Globe. -» **Veille météorologique mondiale**

Les satellites en orbite polaire ont plutôt pour mission de fournir les données quantitatives nécessaires à la compréhension de la dynamique de l'atmosphère et de l'océan superficiel. Leurs instruments essentiels sont des radiomètres travaillant dans l'infrarouge ou les hyperfréquences pour reconstituer la distribution de température et d'humidité dans l'épaisseur de l'atmosphère. Ils disposent également de radiomètres imageurs qui permettent, notamment, de déterminer la température superficielle des océans, la couverture neigeuse des continents, l'étendue des glaces de mer.

Bien que la Russie entretienne des satellites météorologiques (Meteor) en orbite polaire, les seules données utilisées de manière opérationnelle dans le monde entier proviennent de deux satellites américains de la NOAA, dénommés respectivement « satellite du matin » et « satellite de l'après-midi » parce que leurs plans orbitaux ont été choisis de manière à ce qu'ils passent aux latitudes tempérées, au-dessus de chaque point du Globe, l'un en début de matinée, l'autre en début d'après-midi. Faute de ressources suffisantes, les États-Unis cesseront d'entretenir le satellite du matin à partir de 1997, mais leur capacité d'observation météorologique n'en sera pas pour autant gravement dégradée, car ils disposent d'un système militaire de deux satellites en orbite polaire qui duplique le système civil et auquel la NOAA a accès (mais pas les organisations météorologiques d'autres pays). Le système opérationnel de météorologie spatiale actuel reste cependant très insuffisant pour satisfaire les besoins d'un système mondial d'observation du climat. Celui-ci nécessiterait d'une part un meilleur échantillonnage spatiotemporel et une précision de mesure supérieure des paramètres déjà mesurés, d'autre part la mesure d'autres quantités concernant l'océan, la physico-chimie de l'atmosphère et la biosphère. Divers programmes expérimentaux ont déjà pour objet la surveillance de l'environnement climatique. Ainsi, l'observation du bilan radioactif de la Terre amorcée par les satellites Nimbus et NOAA se poursuit avec l'instrument français Scarab* sur des satellites russes Meteor, tandis que le satellite UARS, lancé en 1991 par la navette américaine, s'est consacré à une étude détaillée de la haute atmosphère.

L'étude de la circulation océanique, ressort de missions spécifiques telles que ERS* en

Europe, MOS, JERS et Adeos au Japon, Radarsat au Canada, ou encore la mission franco-américaine Topex*-Poséidon. Certains dispositifs embarqués à bord de la navette américaine (mission Atlas) ou de la station russe Mir (expérience Miras) ou de satellites automatiques (ERS 2, Meteor, Adeos) sont destinés à des études de physico-chimie de l'atmosphère et, notamment, de la teneur en ozone. Vers la fin du siècle, de grandes plates-formes d'observation polaire permettront d'emporter des charges utiles de 2 500 à 3 500 kg.

Météosat. Satellites météorologiques géostationnaires européens.
ENCYCL. Le programme Météosat représente la contribution de l'Europe au système mondial d'observation mis en place par l'Organisation météorologique mondiale sous le nom de Veille météorologique mondiale. Trois satellites ont été mis en œuvre dans le cadre d'un programme préopérationnel financé par huit États membres de l'Agence spatiale européenne : Météosat 1, lancé en 1977 ; Météosat 2, lancé en 1981 ; Météosat 3, lancé le 15 juin 1988 lors du premier vol d'une fusée Ariane 4.
À ce programme expérimental a succédé le programme Météosat opérationnel au titre duquel a été engagée la construction de trois autres satellites et qui doit être au service de la communauté météorologique au moins jusqu'à la fin de 1995. Ces trois nouveaux satellites, hauts de 3,1 m pour un diamètre de 2,1 m et pesant 316 kg en orbite, comportent, par rapport aux précédents, plusieurs améliorations destinées à accroître leurs capacités et leurs performances : en particulier, les quatre canaux de prise d'images (2 dans le visible, 2 dans l'infrarouge) sont indépendants et entièrement redondants et le répéteur de bord assure deux canaux de télécommunications pour une mission de dissémination des données météorologiques. Le premier Météosat opérationnel, MOP-1, rebaptisé Météosat 4 après sa mise en service, a été lancé le 6 mars 1989 ; le deuxième, MOP-2 ou Météosat 5, le 2 mars 1991 ; le troisième, MOP-3 ou Météosat 6, le 20 novembre 1993, Ces satellites sont mis à poste sur l'orbite géostationnaire par 0° de longitude, c'est-à-dire à l'aplomb de l'intersection de l'équateur et du méridien de Greenwich. Depuis 1987, le financement et l'administration du programme sont assurés par l'organisation intergouvernementale Eumetsat*, l'ESA supervisant la réalisation des satellites et assurant leur lancement et leur exploitation pour le compte d'Eumetsat.
Un accord sur le développement d'une nouvelle génération de satellites, appelés MSG (Météosat de seconde génération), a été signé en 1994 par l'Agence spatiale européenne et Eumetsat.
11 a été décidé qu'Eumetsat en définirait les impératifs, l'ESA étant chargée du développement et de la mise en service du prototype, dont le financement est assuré par les Etats membres de l'Agence avec une contribution d'Eumetsat.
Après la recette en orbite du prototype, l'ESA transférera la responsabilité des satellites MSG à Eumetsat, qui assurera l'intégralité du financement et de l'exploitation des satellites ultérieurs.
Plus perfectionnés que leurs prédécesseurs, les satellites MSG fourniront des images des nuages et de la surface des terres émergées et des océans toutes les 15 minutes dans 12 bandes spectrales (contre une fréquence de 30 minutes et 3 bandes spectrales seulement pour les satellites actuels). Avec une résolution spatiale comprise entre 1 et 3 km, les images montreront plus de détails qu'actuellement, et les mesures de température seront plus précises (à 0,25 °C près au lieu de 0,4 °C).
Une importance particulière sera accordée à l'amélioration des applications dans le domaine de la prévision des risques liés à la météorologie et dans la collecte des données pour la surveillance du climat.
Le lancement du premier satellite MSG est prévu pour l'an 2000. À cette date, l'ESA lancera également son premier satellite météorologique sur orbite polaire, Metop* 1, destiné à fournir des mesures complémentaires de celles fournies par les satellites américains de la NOAA*.

Métis. Satellite de Jupiter (n° XVI), découvert en 1979 par l'Américain S. P. Synnot sur des photographies prises par les sondes Voyager.

ENCYCL. Demi-grand axe de son orbite : 128 000 km. Période de révolution sidérale : 0,295 j. Diamètre : 40 km. Métis coïncide avec le bord extérieur de l'anneau principal de Jupiter et l'on pense que son attraction gravitationnelle empêche les particules constitutives de cet anneau de se disperser, expliquant ainsi le bord tranché de l'anneau.

Méton (cycle de). Période de 235 lunaisons imaginée au V[e] s. av. J.-C. par l'astronome athénien Méton et adoptée en Grèce en 432 av. J.-C. pour mettre en accord l'année solaire et l'année lunaire. Cette période représente pratiquement l'équivalent de 19 années de 365 j. Au terme d'un cycle, les phases de la Lune se reproduisent aux mêmes dates.

Metop (acronyme de *METeorological OPerational satellite,* satellite météorologique opérationnel). Programme préparatoire de plate-forme européenne pour la météorologie.
ENCYCL. Le programme Metop constitue la contribution européenne à l'exploitation de l'orbite polaire à des fins météorologiques. Les satellites de ce programme fourniront des mesures complémentaires de celles des satellites américains de la NOAA*. Ils seront équipés d'un certain nombre d'instruments fournis par la NOAA, en particulier d'un imageur à très haute résolution et d'un sondeur infrarouge à haute résolution. Deux radiomètres micro-ondes, développés en Europe et déjà éprouvés, feront également partie de la charge instrumentale, à côté d'instruments plus originaux, comme un sondeur infrarouge par interférométrie et, probablement, un imageur et un diffusomètre micro-ondes. Le lancement du premier satellite, Metop 1, est attendu en l'an 2000.

Meudon (observatoire de). Établissement de recherche astronomique créé en 1875 et implanté sur le site de l'ancien domaine royal de Meudon.
ENCYCL. Rattaché administrativement à l'Observatoire de Paris depuis 1926, il constitue la section d'astrophysique de celui-ci.
C'est l'un des centres mondiaux de documentation planétaire et de surveillance systématique des phénomènes liés à l'activité solaire. La grande lunette, dotée d'un objectif de 0,83 m de diamètre et de 16,3 m de focale, qui y a été installée en 1891 est, par son diamètre, la troisième du monde.

MHD. Abréviation de magnétohydrodynamique.

Miaplacidus. Étoile P de la Carène. Magnitude apparente visuelle : 1,7. Type spectral : A0. Distance : 110 années de lumière.

Mic. Abréviation de *Microscopium,* désignant la constellation du Microscope.

microgravité n.f. Quasi-absence de force d'origine gravitationnelle.
ENCYCL. Pour les physiciens, c'est un état caractérisé par le fait que la résultante des forces gravitationnelles agissant sur un corps est très faible par rapport à la gravité à la surface de la Terre.
Une microgravité de l'ordre de 10"3 g existe, par exemple, à la surface d'un astéroïde ou à 200 000 km d'une planète comme la Terre, ou encore à 120 millions de kilomètres d'une étoile comme le Soleil.
Par un abus de langage regrettable (qu'il est désormais difficile de corriger), la communauté scientifique a retenu l'expression « recherches en microgravité » pour désigner les expériences réalisées, en fait, en micropesanteur*.
(Dans un satellite, la gravité n'a nullement disparu... puisque c'est elle qui entretient le mouvement de gravitation : elle est le « moteur » du satellite. On y observe une micropesanteur mais aucune microgravité.)
Quoi qu'il en soit, il est vrai qu'un vaisseau spatial peut constituer un laboratoire d'un type nouveau, exceptionnel, donnant aux chercheurs la possibilité d'expériences inédites, irréalisables au sol.
RECHERCHES EN MICROGRAVUÉ. Plusieurs moyens permettent de créer une pesanteur très réduite (on en distinguera, entre parenthèses, la valeur et la durée) :
- la tour d'impesanteur (ou à chute libre), destinée aux expériences compactes (10"s g pendant quelques secondes) ;
- l'avion en vol parabolique (10~2 g pendant des périodes de dix à quinze secondes) ;
- la fusée-sonde, capable de propulser une

charge utile de 200 ou 300 kg au-dessus des *couches denses de l'atmosphère* (10^{-5} *g* pendant quelques minutes) ;
- le satellite, habité ou automatique, récupérable ou non, en orbite terrestre (de 10 à 10^{-7} g pendant plusieurs mois).

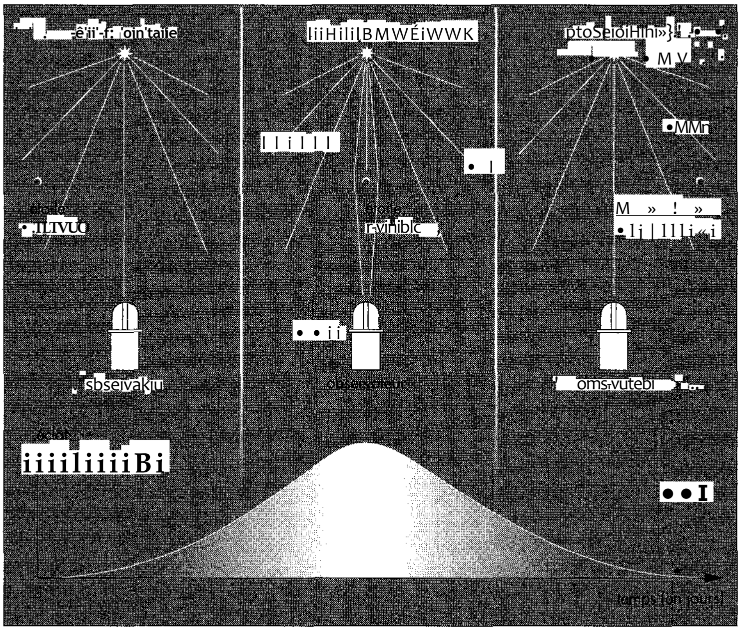
DOMAINES D'APPLICATION. Traditionnellement, les recherches en microgravité sont scindées en deux disciplines : la science des matériaux et les sciences de la vie.

La science des matériaux met à profit, d'une part, la disparition de plusieurs phénomènes considérés comme « naturels » sur Terre (sédimentation, poussée d'Archimède, pression hydrostatique, convection...), d'autre part, l'importance prise, en l'absence de pesanteur, par des phénomènes qui sont inobservables ou simplement secondaires en temps normal (par exemple, la tension superficielle).

Ces modifications étant particulièrement sensibles sur la matière fluide, les expériences comportent le plus souvent au moins une phase liquide : croissance cristalline, solidification d'alliages, séparation électrocinétique de substances biologiques (électrophorèse), etc. Leurs objectifs relèvent généralement de *la* recherche fondamentale : physique des fluides, physico-chimie des surfaces, thermodynamique, mécanismes d'échange de matière et d'énergie...
Que peut-on en attendre ? À court terme, certainement pas la fabrication industrielle de produits inconnus mais plus vraisemblablement de nouvelles connaissances scientifiques et une meilleure compréhension des processus de fabrication, sur Terre, de substances usuelles.

Les sciences de la vie étudient l'influence de la micropesanteur sur le comportement des organismes vivants. Elles peuvent se classer en deux grandes catégories :
- la médecine* spatiale, qui s'intéresse aux spationautes, qu'il convient de surveiller médicalement mais qui peuvent se prêter à des recherches concernant principalement le système cardio-vasculaire, le système de l'équilibre, le squelette et les muscles ; elle se préoccupe également de mettre au point les mesures indispensables pour contrer les effets néfastes de l'impesanteur sur l'organisme ;

Microlentille gravitationnelle



- la physiologie et la biologie* fondamentales qui étudient les phénomènes de base concernés par la gravité et qui font appel à différents types d'expérimentation sur les cellules, les animaux (des dizaines d'espèces différentes ont participé à des missions spatiales) et les végétaux en vue d'études sur les phénomènes de croissance, de tropisme et de mutation.

microlentille gravitationnelle. Amplification de la luminosité apparente d'une étoile, due à la déviation de la lumière issue de cette étoile par un objet dense plus proche, situé sur la ligne de visée ou proche de celle-ci.

ENCYCL. On tire parti de cet effet, prévu par la théorie de la relativité générale, pour tenter de mettre en évidence l'existence de naines* brunes (invisibles). En effet, de tels objets pourraient, par leur influence gravitationnelle, modifier l'éclat d'étoiles plus lointaines situées dans la même direction. -» **matière**

Micromégas. Conte philosophique de Voltaire (1752), dont le héros est un géant, habitant sur l'étoile Sirius, qui décide d'explorer l'Univers et, en traversant la Voie lactée d'étoile en étoile, aborde le système solaire, s'installe sur Saturne puis, en compagnie du secrétaire perpétuel de l'Académie de cette planète, entreprend de visiter les autres planètes. Il parvient finalement sur la Terre et découvre avec étonnement qu'un monde aussi petit (à son échelle) abrite des êtres raisonnables. Ce roman très court est une satire de la folie des grandeurs de l'homme.

micrométéorite n.f. Météorite de très petite dimension (inférieure au millimètre) qui fond à son entrée dans l'atmosphère sans se vaporiser.

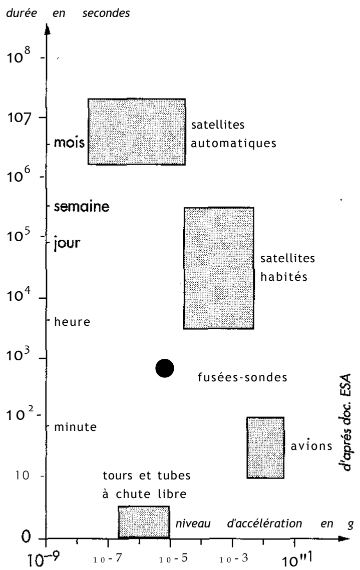
ENCYCL. Les micrométéorites tombent très lentement sur la Terre. On peut les recueillir au sol ou dans la stratosphère et on les détecte à bord des satellites artificiels.

micromètre n.m. Appareil lié à l'oculaire d'un instrument de visée et permettant de mesurer avec précision de petites distances angulaires.

micropesanteur n.f. Pesanteur fortement réduite, généralement de mille à un million de fois plus faible que la pesanteur terrestre normale.

ENCYCL. Pour désigner cet environnement physique particulier qui ne peut s'obtenir durablement (du moins aujourd'hui) qu'au moyen des satellites artificiels, l'usage a malheureusement consacré le mot *microgravité**, qui est impropre. Chacun de ces deux termes a pourtant une signification spécifique :
- sur Phobos, le satellite naturel de Mars, un spationaute serait à la fois en microgravité (parce que l'attraction gravitationnelle de cet astre est très faible) et en micropesanteur ;
- en orbite terrestre, les occupants d'un vaisseau spatial sont en micropesanteur (car, dans un repère lié au vaisseau, les forces gravitationnelles et d'inertie se compensent) mais non en microgravité (car la Terre est proche du vaisseau) ;
- sur une planète comparable à la Terre mais présentant une vitesse de rotation dix-sept fois plus rapide, les habitants seraient soumis à une micropesanteur à l'équateur, à

Niveau et durée de **micropesanteur** obtenus avec différents équipements ou engins



une pesanteur normale aux pôles et à une gravité normale en tous lieux ;
- dans une station spatiale en forme d'haltère, circulant dans l'espace lointain et en rotation rapide autour de son centre de masse, un spationaute pourrait se trouver exposé à la fois à une microgravité (en raison de l'éloignement de tout corps céleste) et à une pesanteur normale (recréée artificiellement par rotation).

microphotomètre n.m. Photomètre de précision pour la mesure de l'éclairement des diverses plages d'une photographie.

micropropulseur n.m. Propulseur de faible poussée (généralement quelques newtons) utilisé pour la commande d'attitude d'un engin spatial.

microsatellite n.m. Petit satellite destiné à expérimenter, à faible coût et rapidement, diverses technologies ou applications et embarqué en tant que passager auxiliaire en même temps qu'une charge utile principale. L'usage réserve généralement cette appellation aux satellites dont la masse est inférieure à une centaine de kilogrammes.

Microscope (en latin*Microscopium, -ii).* Petite constellation australe, introduite par La Caille en 1752, au sud du Capricorne. Elle ne renferme que des étoiles de faible éclat, dont la plus brillante est de magnitude 4.

Microscopium (-ii). Nom latin de la constellation du Microscope (abrév. *Mie).*

Milankovic (Milutin), astronome yougoslave (Dalj, Croatie, 1879-Belgrade 1958).
Il formula en 1941 la théorie, qui porte son nom, selon laquelle les fluctuations à long terme du climat sont liées à des variations cycliques de trois paramètres orbitaux de la Terre (l'excentricité de son orbite ; l'inclinaison de son axe de rotation par rapport à la perpendiculaire au plan de l'orbite ; et la date de son passage annuel au périhélie). Celles-ci, avec chacune une périodicité différente, se combineraient pour provoquer au cours du temps des modifications sensibles de l'ensoleillement, suffisantes pour déclencher les glaciations.

millimétrique (astronomie). Partie de la radioastronomie qui étudie les sources célestes de rayonnement radioélectrique à des longueurs d'onde comprises entre 1 et 10 mm environ. Cette région du spectre électromagnétique est riche en raies dues à des molécules interstellaires.

Milne (Edward Arthur), astronome et mathématicien anglais (Hull 1896-Dublin 1950).
Ses travaux concernent surtout l'astrophysique théorique et la relativité. Il étudia la thermodynamique des étoiles, la structure de la matière stellaire, les variations des céphéides*, qu'il expliqua par des pulsations régulières, et l'atmosphère solaire (1921). On lui doit également une théorie originale sur l'expansion de l'Univers.

Mimas. Satellite de Saturne (n° I), découvert en 1789 par W. Herschel.
ENCYCL. Demi-grand axe de son orbite : 185 500 km. Période de révolution sidérale : 0,942 4 j. Diamètre: 398 km. Densité moyenne : 1,1. Sa surface a été révélée par les sondes américaines Voyager en 1980 et 1981. Saturée de cratères d'impact anciens, elle porte les marques du bombardement météoritique intensif auquel se trouvèrent soumis les corps du système solaire peu après leur formation. Le plus grand cratère atteint 130 km de diamètre et renferme un pic central haut de 9 km ; aux antipodes, on observe de grandes fissures, vraisemblablement créées par l'ébranlement consécutif à l'impact : sans doute Mimas est-il entré jadis en collision avec un astéroïdè qui manqua de peu de le fragmenter. D'après sa densité moyenne, le satellite serait constitué de glace, avec des inclusions de roches.

Mimosa. Étoile (3 de la Croix du Sud. Magnitude apparente visuelle : 1,2. Type spectral : B1. Distance : 400 années de lumière.

Minchir (d'une locution arabe signifiant *le nez de l'Hydre,* par allusion à sa position dans la constellation). Autre nom *d'Alphard*,* étoile a de l'Hydre femelle.

Mineur (Henri), astronome français (Lille 1899 - Paris 1954).
Il a été l'un des fondateurs du CNRS et de l'observatoire de Haute-Provence. À son initiative fut créé en 1936 l'Institut d'astrophysique de Paris, qu'il dirigea jusqu'à sa mort. On lui doit des contributions à la mécanique céleste, à la statistique et au calcul numérique. En astrophysique, ses travaux les plus importants touchent à l'astronomie stellaire. Vers 1945, il montra notamment l'existence de deux classes de céphéides*, dont la confusion conduisait à une échelle de distances extragalactiques erronée.

minisatellite n.m. Petit satellite dont la masse est généralement comprise entre une centaine de kilogrammes et une demi-tonne.

Minkowski (Rudolph), astronome américain d'origine allemande (Strasbourg 1895-Berkeley *1976).*
Il fut le premier à distinguer l'existence de deux types de supernovae (1941). Avec W. Baade*, il découvrit la première radiogalaxie, Cygnus A (1954), et, avec l'essor de la radioastronomie, il s'attacha à identifier les contreparties optiques des radiosources nouvellement découvertes.

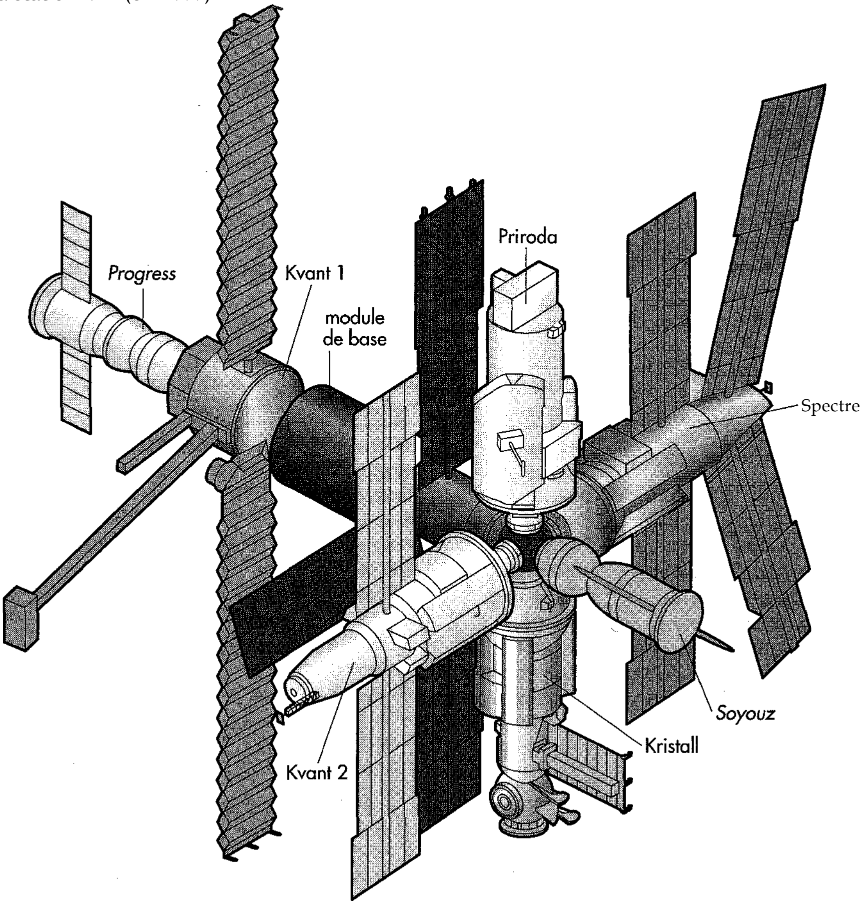
Minnaert (Marcel Gilles Jozef), astronome néerlandais (Bruges 1893-Utrecht 1970).
Il fut l'un des pionniers de l'astrophysique solaire. Sous sa direction (1937-1963), l'observatoire de l'université d'Utrecht s'est transformé en institut d'astrophysique, surtout orienté vers l'étude des spectres solaires et plus généralement stellaires.

minuit n.m. Instant postérieur de douze heures à celui de midi.

Mir (mot russe signifiant *paix,* ou *monde),* Station spatiale russe dont le premier élément a été mis sur orbite terrestre le 19 février 1986 par un lanceur Proton.
De 1971 à 1982, l'URSS a satellisé sept stations Saliout à présent détruites. Mir est donc son huitième laboratoire orbital.
MODULE CENTRAL. La station Mir a été construite à partir d'un élément central : de forme cylindrique, mesurant 13 m de long et 4,1 m de diamètre maximum, pesant 20 t, il offre un volume habitable d'environ 100 m^3. Treize hublots (de 8 à 43 cm de diamètre) sont utilisés pour l'observation visuelle ou l'installation d'instruments scientifiques. Ce compartiment sert à la fois :
- au pilotage de la station et à la surveillance de ses multiples systèmes : deux sièges, tenant à la fois du tabouret et de la selle, qui seraient d'un emploi malaisé sur Terre, permettent aux cosmonautes de demeurer assis, face aux écrans de contrôle, malgré l'impesanteur ;
- aux nombreuses expériences et observations de toutes sortes inscrites au programme de chaque mission ;
- aux préparatifs culinaires et aux repas (pris sur une table qui peut accueillir jusqu'à quatre personnes en même temps) ;
- aux exercices physiques (sur le tapis roulant et la bicyclette).

L'application de couleurs différentes sur le plancher, les murs et le plafond facilite l'orientation des cosmonautes que l'impesanteur prive de tout autre repère. La température intérieure est maintenue entre 18 et 28 °C et l'humidité de l'atmosphère entre 30 et 70 %. L'air respiré a la même composition et pression que sur la Terre.
On y trouve également des réserves d'eau potable (dont la conservation est considérablement accrue par l'ajout d'ions d'argent et l'utilisation de récipients stérilisés), un réfrigérateur, un stock de vivres, un petit lavabo (pour se laver les mains) et des toilettes.
Deux cabines individuelles sont réservées à l'équipage principal : elles possèdent un hublot, une petite table de travail et un strapontin ainsi qu'un sac de couchage, le long de la paroi latérale.
Le module central de Mir est doté de six pièces d'amarrage (alors qu'il n'y en avait que deux sur Saliout 6 et 7 et une seule auparavant) : une pièce se trouve à l'arrière, les cinq autres à l'avant, à 90° les unes des autres. Cette innovation a permis d'ajouter divers éléments (appelés modules) au noyau central et d'assembler un important complexe orbital, à la façon d'un Meccano.
Ce module comporte aussi notamment un compartiment de propulsion comprenant trente-deux moteurs de faible poussée (137 N) pour les corrections d'attitude et deux

La station **Mir** (en 1999)



moteurs de forte poussée (2,94 kN) pour modifier les paramètres orbitaux, principalement l'altitude de la station.

ASSEMBLAGE. Au cours du temps, cinq modules cylindriques supplémentaires, mesurant de 6 à 13 m de long et pesant de 10 à 20 t, ont été satellisés et accrochés au module central : Kvant 1 (1987), Kvant 2 (1989), Kristall (1990), Spectre (1995) etPriroda (1996).

Dans cette configuration définitive, l'ensemble mesure plus de 30 m de long (lorsqu'un vaisseau Soyouz et un vaisseau Progress sont amarrés à chaque extrémité) et pèse environ 130 t. Son volume utile avoisine 400 m^3.

OCCUPATION. La station Mir peut fonctionner en régime automatique, sans occupant, mais elle est conçue pour une présence humaine. Lancé vide, l'élément central a reçu ses deux premiers occupants le 15 mars 1986, puis est resté inhabité du 16 juillet 1986 au 7 février 1987. Depuis cette date, il n'a jamais cessé d'être occupé.

Évoluant sur une orbite inclinée de 51,6° sur l'équateur, entre 350 et 400 km d'altitude, Mir ne peut être exploitée qu'au prix

d'un ravitaillement périodique assuré par deux types de véhicules spatiaux :
- les vaisseaux pilotés Soyouz, pour le transport des cosmonautes et d'un peu de matériel entre la Terre et la station (et dans le sens inverse) ;
- les vaisseaux Progress, capables de rejoindre la station et de s'y amarrer de façon automatique ; ils servent au ravitaillement (nourriture, eau, instruments scientifiques, objets personnels et courrier pour les cosmonautes mais aussi ergols pour les moteurs de la station).

Freinée par l'atmosphère résiduelle qui subsiste encore à son niveau, Mir se rapproche continûment de la Terre et doit, de temps à autre, être rehaussée grâce à ses moteurs ou aux vaisseaux Progress employés comme un remorqueur.

Pendant les treize premières années de son exploitation, de février 1986 à février 1999, Mir a reçu :
- une soixantaine de vaisseaux Progress,
- une trentaine de vaisseaux Soyouz qui ont transporté près de 80 personnes (certaines faisant plusieurs voyages) ce qui correspond à environ 60 cosmonautes différents : une quarantaine étaient russes et une vingtaine originaires d'une dizaine de pays.

La durée des séjours a varié d'une semaine à plusieurs mois, avec un séjour record de quatorze mois (janvier 1994 / mars 1995) pour le médecin russe Valéri Poliakov.

Pour assurer une occupation permanente de la station, les spécialistes russes ont mis en place un système de rotation qui permet de concilier les séjours courts (généralement ceux des étrangers) et les séjours de longue durée. Lorsqu'on souhaite faire revenir sur Terre deux Russes en orbite depuis plusieurs mois, on lance un vaisseau Soyouz avec leurs deux remplaçants et un troisième cosmonaute destiné à une courte mission. Le moment venu, celui-ci reviendra en compagnie de l'ancien équipage.

LES RENDEZ-VOUS DE MIR AVEC LA NAVETTE AMERICAINE. Pour préparer les opérations futures d'assemblage et d'exploitation de la Station spatiale internationale, la Russie et les États-Unis ont réalisé, de février 1995 à juin 1998, neuf rendez-vous (dont huit amarrages) entre Mir et la navette spatiale. Ce fut l'occasion de transférer des hommes et des femmes entre les deux véhicules et d'apporter un complément de matériel dans Mir. En particulier, l'astronaute américaine Shannon Lucid y est restée plus de six mois (mars / septembre 1996), établissant le record du plus long séjour féminin dans la station russe.

ACTIVITÉS SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES. Les centaines d'expériences réalisées à bord de Mir ont porté notamment sur l'astronomie, l'astrophysique, l'observation de la Terre, la géophysique, la médecine, la biologie, la botanique et la science des matériaux. La maintenance de la station, divers travaux d'aménagement ou de réparation à l'extérieur, la mise en place ou le retrait d'expériences exposées à l'environnement spatial ont nécessité plus de 70 sorties extravéhiculaires (de deux cosmonautes à chaque fois).

INCIDENTS. Initialement prévue pour une mission d'environ cinq ans, la station Mir a connu, après une dizaine d'années en orbite, un grand nombre de défaillances le plus souvent sans gravité pour l'équipage. Elles concernaient par exemple les ordinateurs de bord, le système d'orientation de la station, les générateurs d'oxygène, le système de pompage des eaux usées, etc.

En revanche, deux incidents majeurs - les plus redoutés dans l'espace - auraient pu avoir des conséquences catastrophiques :

- un début d'incendie dans le module central, dans la nuit du 23 au 24 février 1997, que les six cosmonautes présents ont pu maîtriser ;
- la collision, le 25 juin 1997, entre un cargo Progress et le module Spectre au cours d'une manœuvre d'amarrage. Sous le choc, le module a été dépressurisé et a dû être isolé du reste de la station. En dépit de plusieurs tentatives de réparation, il n'a pas pu être remis en état.

LA VIE QUOTIDIENNE A BORD. La vie des cosmonautes à bord de Mir est planifiée à la minute près. Leur plan quotidien d'activité, préparé avec soin, leur dit exactement quand ils doivent se réveiller, travailler sur telle expérience, manger et prendre de l'exercice. Les week-ends sont des jours de repos pendant lesquels ils peuvent lire, regarder par les hublots, parler à leur famille, écrire des lettres, écouter de la musique ou visionner des films.

Sur les douze heures du programme quotidien d'un cosmonaute à bord de Mir, environ 90 minutes sont consacrées à l'exercice physique et six heures en moyenne aux travaux scientifiques.

EN ORBITE JUSQU'EN 2002 ? En janvier 1999, le gouvernement russe autorisait les exploitants de la station Mir, l'Agence spatiale russe (RKA) et la société RKK Energia, à rechercher des fonds privés pour financer son exploitation pour trois années supplémentaires.

Lorsque son exploitation sera terminée, Mir devra être détruite. En effet, comme toutes les stations orbitales antérieures, elle ne peut pas revenir intacte sur Terre. Elle est condamnée à être détruite en rentrant, à grande vitesse, et à brûler dans les couches denses de l'atmosphère. Mais, le moment venu, il devrait être possible de choisir la zone où certains débris atteindront la Terre. L'altitude de la station sera abaissée progressivement grâce au moteur des vaisseaux Progress qui la rejoindront spécialement pour ce travail. Une série d'impulsions permettront de projeter violemment Mir, inhabitée, dans la haute atmosphère où elle explosera. Si tout se passe comme prévu, ses débris retomberont dans le Pacifique, près de la Nouvelle-Zélande.

Mira Ceti (en latin la *Merveilleuse de la Baleine),* étoile o de la Baleine, ainsi nommée en raison de ses variations d'éclat.

ENCYCL. Première étoile reconnue comme variable (par David Fabricius, en 1596), c'est une supergéante rouge, de type spectral M, située à 200 al environ. Son rayon moyen représente 400 fois celui du Soleil. Avec une température superficielle de 3 000 K seulement, c'est l'une des étoiles les plus froides connues. Étoile instable, parce que déjà parvenue à un stade d'évolution avancé, elle varie suivant une période moyenne de 331,6 j. Ses fluctuations d'éclat se caractérisent par une montée rapide, une décroissance lente et une longue persistance du minimum. Alors qu'au maximum elle peut atteindre la magnitude 2, devenant ainsi plus brillante que la Polaire, au minimum, sa magnitude reste comprise entre 8,6 et 10,1 et elle n'est plus perceptible qu'avec des jumelles. Elle est le prototype d'une classe d'étoiles variables à longue période : les étoiles *Mira.*

Mirach (nom arabe signifiant *pagne,* par allusion à la position de l'étoile dans la constellation). Étoile |3 d'Andromède. Magnitude apparente visuelle : 2,0. Type spectral : MO. Distance : 200 années de lumière.

MIRACL (sigle de l'angl. *Mid-Infrared Advanced Chemical Laser).* Laser de haute énergie de l'armée américaine, mis en service en 1980, et utilisé notamment pour des essais antisatellites.

ENCYCL. Installé au centre national d'essais de lasers à haute énergie des États-Unis, à White Sands, ce laser chimique au fluorure de deutérium, fonctionnant dans l'infrarouge moyenne, est le plus puissant laser des Etats-Unis. Sa puissance maximale, classifiée, doit être supérieure à 2 mégawatts. Le 17 octobre 1997, il a été utilisé pour une première expérience de défense antisatellite : son faisceau (dont la puissance avait été limitée) a illuminé à plusieurs reprises le satellite militaire américain MSTI 3, gravitant à 440 km d'altitude. Cet essai visait à apprécier la vulnérabilité d'un satellite actif illuminé par un laser à haute énergie, de façon intentionnelle ou non. Le succès n'a été que partiel, le satellite n'ayant pu renvoyant les données espérées concernant les effets du faisceau laser sur ses capteurs optiques.

mirage gravitationnel. Ensemble des images d'un astre lointain que l'on observe par suite de la modification de trajet des rayons lumineux issus de cet astre au voisinage d'un objet massif plus proche situé sur la ligne de visée (lentille* gravitationnelle).

ENCYCL. Ce phénomène est prévu par la théorie de la relativité* générale et A. Eddington* a tenté de le mettre en évidence dès 1923, Il se manifeste notamment dans le cas de certains quasars, dont on voit deux ou trois images (quasars doubles, quasars triples), parce que la lumière qui nous en parvient est courbée par son passage à proximité d'une importante concentration de matière - galaxie géante ou amas de galaxies - interposée sur la ligne de visée. Mais le phéno-

mène peut se manifester sur tous les objets astronomiques lointains. Dans le cas d'un alignement parfait de la source lumineuse, de l'objet déflecteur et de l'observateur, la théorie prévoit la formation d'un anneau lumineux autour de l'objet déflecteur. Ce phénomène a été observé pour la première fois en 1985 au centre de l'amas de galaxies AbeË 370, un amas riche de galaxies situé à quelque 5 milliards d'années de lumière, par une équipe française utilisant le télescope Canada*-France-Hawaii. Depuis, d'autres spécimens d'anneaux ou d'arcs (appelés *arcs gravitationnels)* ont été décelés, associés à des amas de galaxies.

Miranda. Satellite d'Uranus (n° V), découvert en 1948 par l'Américain G. Kuiper.
ENCYCL. Demi-grand axe de son orbite : 129 800 km. Période de révolution sidérale : 1,413 5 j. Diamètre : 480 x 466 km. Densité : 1,2. La sonde américaine Voyager 2 s'en est approchée à moins de 30 000 km en 1986 et a permis d'obtenir des photographies de sa surface sur lesquelles les plus fins détails perceptibles ne mesurent que 600 m : c'est mieux que ce que l'on peut voir sur la Lune avec les plus grands télescopes terrestres. Son relief est étonnamment complexe : on y voit, par exemple, des terrains chaotiques cratérisés rappelant ceux de Phobos*, de grandes coulées de glace comme sur Encelade*, et des craquelures géantes comme sur Europe*. Mais on y remarque aussi des escarpements impressionnants dont les pentes ont jusqu'à 20 km et des fossés d'effondrement spectaculaires de 10 à 15 km de profondeur. L'ampleur et la diversité de l'activité tectonique sont surprenantes pour un corps aussi petit et aussi froid (température superficielle : - 187 °C). Peut-être Miranda s'est-il, à plusieurs reprises, fragmenté lors de collisions avec d'autres corps, avant que ses débris ne se réassemblent. Ainsi pourrait s'expliquer l'extraordinaire mosaïque géologique qu'on y découvre.

Mirfak. Étoile a de Persée. Magnitude apparente visuelle : 1,8. Type spectral : F5. Distance : 500 années de lumière.

miroir n.m. Pièce optique à la surface polie et métallisée (argent, aluminium) qui réfléchit les rayons lumineux. *Miroir concave :* miroir à surface concave, qui fait converger les rayons lumineux qu'il réfléchit. *Miroir convexe :* miroir à surface convexe, qui fait diverger les rayons lumineux qu'il réfléchit. *Miroir parabolique :* miroir concave à surface en forme de paraboloïde. *Miroir plan :* surface plane réfléchissante. *Miroir primaire :* miroir principal d'un télescope, qui collecte la lumière issue des sources observées. Son foyer image est appelé foyer primaire. *Miroir secondaire :* miroir auxiliaire d'un télescope qui intercepte la lumière collectée par le miroir primaire et la renvoie dans une direction spécifiée. *Miroir sphérique :* miroir à surface sphérique.
ENCYCL. Les télescopes* ont pour objectif un miroir. On utilisa d'abord des miroirs métalliques (Newton, Cassegrain), puis en bronze (Herschel, Parsons). L'introduction, par Foucault, au milieu du XIXe s. des miroirs en verre, à la surface métallisée, constitua un progrès décisif. Pour les grands diamètres, on emploie aujourd'hui des verres céramiques à très faible coefficient de dilatation. La métallisation de la surface s'effectue soit par des procédés chimiques d'argenture, soit par la technique d'aluminiage par dépôt sous vide.

miroir spatial. Surface réverbérante placée en orbite terrestre et capable de réfléchir vers la Terre un peu de lumière solaire. Deux essais, peu concluants, ont été réalisés en 1993 et 1999 depuis un vaisseau Progress,- à proximité de la station Mir, au moyen d'une voile de Kevlar aluminisé, de 20 m de diamètre.

Mirzam (nom arabe signifiant *celui qui précède).* Étoile P du Grand Chien. Magnitude apparente visuelle : 2,0. Type spectral : B1. Distance : 500 années de lumière.

mise à poste. Pour un satellite, passage de l'orbite initiale fourmie par le lanceur à l'orbite (et dans l'attitude) qu'exige sa mission.
ENCYCL. Cette période comporte diverses manœuvres correctrices réalisées au moyen de moteurs (dont le moteur d'apogée dans le cas des satellites géostationnaires).

La phase de mise à poste est relativement courte : pour les satellites géostationnaires, elle dure de trois à quatre semaines.

mise sur orbite. Ensemble des opérations permettant de placer un engin spatial sur une orbite donnée, autour de la Terre ou de tout autre astre, SYN : *satellisation*

mission spatiale. Tâche spécifique confiée à un lanceur, à un satellite automatique ou à l'équipage d'un vaisseau spatial. Par exemple, la mission d'un lanceur s'achève avec l'injection de sa charge utile sur l'orbite prévue.

Mizar (nom arabe signifiant *tablier).* Étoile de la constellation de la Grande Ourse*. Magnitude apparente 2,2. Type spectral A2. Distance : 78 années de lumière.
ENCYCL. Riccioli, en 1650, parvint à la dédoubler en deux composantes, séparées de 14,5° : elle fut ainsi la première étoile double identifiée. Mais c'est, en fait, une étoile multiple, et Pickering, en 1889, y a décelé la première binaire spectroscopique. En outre, elle forme avec Alcor* un couple optique célèbre.

MMT. Sigle de *Multiple* Mirror Telescope* et de *Monolithic* Mirror Telescope.*

MMU (sigle de *Manned Maneuvering Unit,* unité de manœuvre individuelle). Équipement individuel permettant aux astronautes américains d'évoluer dans l'espace en toute autonomie, à proximité de leur orbiteur mais sans lien avec lui.
ENCYCL. Appelé couramment scooter spatial, sac à dos propulsif ou fauteuil volant, le MMU se présente comme un fauteuil avec un dossier et deux bras mais sans siège. Masse approximative : 150 kg, hauteur : 1,25 m, largeur : 83 cm.
En temps normal, il est accroché dans la soute de l'orbiteur de la navette.
Le MMU a été mis en service le 7 février 1984 : Bruce McCandless est ainsi devenu le premier « homme-satellite », capable d'évoluer librement dans le vide spatial.
D'autres utilisations ont suivi, notamment afin de réparer sur place des satellites défaillants (SMM en avril 1984 et Syncom IV F3 en septembre 1985) ou de récupérer en orbite et ramener au sol deux satellites de télécommunications gravitant sur une mauvaise trajectoire (Westar 6 et Palapa B2, en novembre 1984).
Depuis 1995, les astronautes américains, disposent d'un équipement plus performant. -» **Safer**
L'ex-URSS a mis au point un équipement analogue, Ikarus*.

modèle n.m. Dans le cas d'un programme de satellite, chacun des exemplaires fabriqués pour des essais préliminaires comme les modèles d'ingénierie, de thermique, de qualification, etc., ou pour être mis sur orbite (modèles de vol). De plus, il est fréquent qu'un système spatial comprenne un modèle de secours, qui n'est lancé que pour remplacer un satellite défaillant.

module de distance. Différence entre la magnitude apparente d'une étoile, corrigée du rougissement dû à la matière interstellaire, et sa magnitude absolue.
ENCYCL. Entre la magnitude absolue M de l'étoile, sa magnitude apparente m et sa distance d, exprimée en parsecs, existe la relation $m - M = 5 \log d - 5$. Cette formule permet de déterminer la distance de l'étoile dès lors qu'on a pu estimer sa magnitude absolue. Elle joue un rôle fondamental pour la détermination des distances des étoiles lointaines.

module n.m. Élément d'un véhicule spatial.

moléculaire (nuage). Nuage de matière interstellaire dont le gaz se trouve principalement sous forme de molécules.
ENCYCL. Deux types distincts de nuages moléculaires ont été identifiés dans les bras spiraux de notre galaxie. Le premier type est représenté par des petits nuages, de quelques années de lumière de diamètre, renfermant 1 000 à 10 000 molécules par centimètre cube et constitués principalement d'hydrogène moléculaire (H_2). Ce sont des nuages très froids (températures de l'ordre de 10 à 20 K), parce qu'ils ne renferment pas d'étoiles susceptibles de les chauffer par leur

rayonnement. Le deuxième type correspond à des nuages moléculaires géants, constitués principalement d'hydrogène moléculaire et de monoxyde de carbone (CO), mais qui renferment aussi de nombreuses autres molécules interstellaires.
S'étendant typiquement sur 150 à 250 années de lumière de longueur, les nuages moléculaires contiennent jusqu'à plus de 100 millions de molécules par centimètre cube et leur masse peut atteindre 10 millions de fois celle du Soleil. Ils sont presque toujours associés à des amas* d'étoiles jeunes et chaudes, dont le rayonnement engendre des nébuleuses d'hydrogène ionisé (régions HII).
Des spécimens de ces nuages, faisant l'objet d'études approfondies, sont observés notamment près du centre de la Galaxie, près de l'étoile Ophiuchi* et derrière la nébuleuse d'Orion*.

molécule n.f. Groupement d'atomes qui représente, pour un corps pur, la plus petite quantité de matière pouvant exister à l'état libre.
ENCYCL. Les molécules se manifestent dans le spectre de certaines étoiles froides et dans celui de la matière interstellaire* neutre et froide. Une centaine de molécules ont été détectées dans le gaz interstellaire, la plus complexe en 1996, étant celle de cyanodécapentayne, de formule HC_nN, qui comporte 13 atomes. **nuage**

Molnia (ou **Molnya).** Lanceur triétage russe conçu pour obtenir des orbites très allongées (périgée : 600 km, apogée : 40 000 km, inclinaison : 63°) sur lesquelles il peut placer une charge utile de 1,6 t.
ENCYCL. Les quelque trois cents exemplaires utilisés depuis sa mise en service, en 1961, ont principalement servi à propulser les satellites de télécommunications Molnia et certains satellites Cosmos pour l'alerte avancée.

Molnia (parfois écrit *Molnya ;* mot russe signifiant *éclair),* satellites russes de télécommunications.
ENCYCL. Le premier Molnia a été lancé le 23 avril 1965. Trente-quatre ans plus tard, leur nombre dépasse cent cinquante. Us appartiennent à trois catégories : Molnia 1 (à ce jour, près de 90 exemplaires lancés), Molnia 2 (17 exemplaires de 1971 à 1977) et Molnia 3 (environ 50 exemplaires depuis 1974).
Contrairement à la plupart des satellites de télécommunications en service aujourd'hui, les Molnia ne sont pas géostationnaires. En effet, pour couvrir tout le territoire de la CEI, très étendu vers le nord, il faut disposer d'engins visibles depuis les hautes latitudes. On leur a donc attribué une orbite particulière, inclinée d'environ 63° sur l'équateur, fortement elliptique avec un périgée assez bas (environ 600 km) et un apogée très élevé (environ 40 000 km), au-dessus de l'hémisphère Nord ; la période de révolution correspondante est de 12 heures. De ce fait, tout satellite Molnia demeure les deux tiers du temps dans la partie haute de sa trajectoire, donc en visibilité d'une large fraction de l'hémisphère Nord.
Pour disposer d'un système opérationnel 24 heures sur 24, il suffit d'exploiter une constellation de tels satellites évoluant soit sur la même orbite (mais espacés les uns des autres), soit sur des orbites décalées.
Avec les satellites Molnia, l'Union soviétique a pu mettre en place un système de télécommunications spatiales, d'abord national (réseau Orbita), puis international, complété - à partir de 1975 - par le réseau Statsionar, qui utilise des satellites géostationnaires. Grâce à eux, il est possible d'établir des liaisons téléphoniques et télégraphiques à grande distance, de retransmettre vers les régions éloignées les programmes radio et télévisés de Moscou, d'imprimer à distance des journaux et de distribuer des' données météorologiques.

Mon. Abréviation de *Monoceros,* désignant la constellation de la Licorne.

Monoceros (-otis). Nom latin de la constellation de la Licorne (abrév *Mon).*

monochromatique adj. Se dit d'un rayonnement électromagnétique ayant une longueur d'onde dans le vide bien déterminée ; se dit d'un filtre qui permet d'isoler un tel rayonnement.

Monolithic Mirror Telescope. Nouveau nom du *Multiple Mirror Telescope* après le remplacement, en 1996, de son miroir à six éléments par un miroir unique de 6,5 m de diamètre.

monopôle n.m. Particule magnétique hypothétique qui n'aurait qu'un seul pôle, nord ou sud.
ENCYCL. L'existence des monopôles magnétiques est prédite par les théories de grande unification. **interaction fondamentale** Leur masse serait très importante pour des particules élémentaires, atteignant peut-être 10^{16} à 10^{17} fois celle du proton. Ils seraient apparus moins de 10^{-35} seconde après le Big* Bang.

mons (mot latin ; pl. *montes)* n.m. Montagne, dans la nomenclature internationale du relief des surfaces planétaires.
ENCYCL. Le terme est utilisé au singulier pour désigner une montagne isolée (par exemple les grands volcans martiens : *Olympus Mons, Arsia Mons, Ascraeus Mons* ...). Il est employé au pluriel pour désigner une chaîne de montagnes (par exemple *Caucasus Montes* sur la Lune, *Maxwell Montes* sur Vénus...).

montgolfière n.f. Ballon ouvert dont l'aérostation est assurée par du gaz atmosphérique chauffé.
ENCYCL. La montgolfière infrarouge (en abrégé MIR) est une montgolfière utilisant le rayonnement infrarouge ambiant, qui permet des expérimentations scientifiques de longue durée dans la haute atmosphère.
La partie supérieure d'une montgolfière infrarouge est constituée d'un matériau aluminisé absorbant dans l'infrarouge à l'intérieur et un peu émissif à l'extérieur pour capter le maximum d'énergie (dans les modèles les plus récents, il s'agit de Nylon aluminisé) ; et sa partie inférieure est réalisée dans un matériau léger particulièrement transparent à l'infrarouge (du polyéthylène linéaire basse densité dans les modèles les plus récents). En 1982-1983, une montgolfière infrarouge réalisée en France sous la responsabilité du Centre national d'études spatiales a, pour la première fois, effectué le tour du monde : lancée de Pretoria (Afrique du Sud) le 11 décembre 1982, elle est retombée en Zambie le 2 février 1983 après avoir volé pendant sept semaines entre 18 et 29 km d'altitude avec une charge utile de 65 kg, dont 35 kg de matériel scientifique. Depuis, l'optimisation de la forme des aérostats, du choix des matériaux et de la répartition des diverses surfaces transparentes ou absorbantes dans l'infrarouge a permis d'améliorer cette performance : une montgolfière infrarouge, lancée le 20 novembre 1989, est retombée le 27 janvier 1990 après avoir accompli deux fois et demie le tour du monde en 69 jours de vol. Les vols de montgolfières infrarouges sont utilisés pour la réalisation d'expériences intéressant la physique, la chimie et la dynamique de la haute atmosphère.

monture n.f. Ensemble mécanique destiné à supporter un instrument d'observation et à le rendre mobile autour de deux axes perpendiculaires afin de pouvoir le diriger vers un point quelconque du ciel.
ENCYCL. On distingue deux types principaux de montures : la monture azimutale* et la monture équatoriale*. Il existe deux familles de montures équatoriales :
- les montures allemandes, où l'axe de déclinaison est en porte à faux par rapport aux paliers supportant l'axe horaire ;
- les montures anglaises, où l'axe de déclinaison est fixé sur l'axe polaire intérieurement aux paliers de ce dernier. Ces deux familles comportent des variantes :
- la monture à fourche est une monture allemande symétrique, dans laquelle l'extrémité de l'axe horaire porte une fourche entre les branches de laquelle l'instrument se meut en déclinaison ;
- la monture à berceau est une monture anglaise symétrique dans laquelle l'axe de déclinaison est supporté par un cadre rectangulaire, lui-même mobile autour de l'axe horaire ;
- la monture en fer à cheval est une variante de la monture à berceau, où la traverse nord du berceau (dans l'hémisphère Nord) est remplacée par un grand disque échancré en fer à cheval pour permettre de viser le pôle.
Le choix d'un type de monture s'effectue en fonction de la masse totale de l'instrument et du type d'observations auquel celui-ci est principalement destiné.

Morehouse (comète). Comète découverte en 1908 par l'Américain Morehouse et donc l'aspect fut très spectaculaire. Désignation officielle : 1908 III. Ce fut la première comète à être étudiée de manière approfondie grâce à la photographie ; sa structure présenta de nombreux changements

Morelos. Premiers satellites mexicains lancés à partir de 1985 par la navette américaine pour les télécommunications intérieures du Mexique. La génération suivante, Solidaridad, est apparue en 1993.

Moreux (abbé Théophile), météorologiste et astronome français (Argent-sur-Sauldre 1867-Bourges 1954).
Il installa à Bourges un observatoire, à présent disparu, et se consacra principalement à l'étude du Soleil et de ses influences possibles sur les phénomènes terrestres, mais il demeure surtout connu pour ses nombreux ouvrages de vulgarisation scientifique.

MORO (acronyme de l'angl. *Moon ORbiting Observatory,* observatoire en orbite autour de la Lune). Projet de satellite en orbite autour de la Lune proposé comme troisième mission de taille moyenne du programme scientifique Horizon* 2000 de l'Agence spatiale européenne.
ENCYCL. Ce satellite aurait pour objectif principal de cartographier la surface de la Lune avec une résolution de 10 m seulement. Son lancement, si le projet est retenu, pourrait intervenir en 2003.

MOS (sigle de *Marine Observations Satellite).* Satellites japonais d'observation terrestre.
ENCYCL. Le premier exemplaire, MOS 1, surnommé Momo 1 (en japonais, *fleur de pêcher),* a été lancé le 19 février 1987.

mosaïque n.f. En télédétection, assemblage d'images spatiales ou de photographies aériennes pour obtenir des vues synoptiques de vastes ensembles. Les mosaïques sont également très utilisées en planétologie, notamment avec les prises de vues des sondes spatiales.

moteur d'apogée. Propulseur (à liquides ou à poudre) équipant les satellites géostationnaires. Allumé au voisinage de l'apogée de l'orbite de transfert, il accroît la vitesse du satellite et l'injecte sur la trajectoire circulaire prévue ; au lancement, sa masse (propergol inclus) représente approximativement 50 % de celle du satellite complet.

moteur de périgée. Propulseur équipant les satellites géostationnaires lancés par la navette américaine et utilisé pour transformer l'orbite basse circulaire initiale en orbite de transfert qui, ultérieurement, sera rendue circulaire, à 36 000 km, au moyen d'un moteur d'apogée.

moteur-fusée n.m. Propulseur à réaction emportant le comburant et le combustible nécessaires à son fonctionnement.

Mouche (en latin *Musca, -ae).* Petite constellation australe, au sud de la Croix du Sud, introduite au xvif s. par le Danois D. Bartsch après que J. Bayer, dans son *Uranometria,* en 1603, eut imaginé une abeille dans cette zone du ciel. Ses étoiles les plus brillantes ont des magnitudes apparentes comprises entre 3 et 4.

Mouchez (Ernest Barthélémy), officier de marine et astronome français (Madrid 1821-Wissous, Essonne, 1892).
Contre-amiral en 1878, nommé la même année directeur de l'Observatoire de Paris, il fut notamment le promoteur de la Carte* du ciel. On lui doit aussi la création d'un musée astronomique à l'Observatoire. Enfin, il réorganisa la diffusion télégraphique de l'heure à la Ville de Paris et suscita cette diffusion à la province.

mouvement propre. Déplacement angulaire d'une étoile sur la sphère céleste dû à son mouvement dans l'espace, exprimé en secondes de degré par an.
ENCYCL. Sur des intervalles de temps limités à quelques siècles, les figures que dessinent les constellations dans le ciel semblent immuables, mais un observateur qui vivrait plusieurs dizaines de milliers d'années constaterait qu'elles se déforment progressivement. En effet, les étoiles qui les composent se déplacent lentement les unes par rapport aux autres. C'est l'astronome britannique

Edmond Halley qui mit en évidence le premier, en 1718, ce déplacement des étoiles sur la sphère céleste, en remarquant que les étoiles brillantes Sirius, Arcturus, Procyon et Aldébaran occupaient une position légèrement différente de celle indiquée par le catalogue de Ptolémée, établi seize siècles auparavant. Depuis lors, on a mesuré le mouvement propre de très nombreuses étoiles. **Hipparcos**
L'étoile dont le mouvement propre est le plus rapide est l'étoile de Barnard*, qui se déplace de 10,31" par an; vient ensuite l'étoile de Kapteyn, dans la constellation du Peintre, dont le déplacement annuel est de 8,76". Mais la plupart des étoiles, en raison de leur éloignement, ont un mouvement propre annuel inférieur à 1".
Certains mouvements propres, tel celui de Sirius*, présentent une allure sinusoïdale, trahissant l'existence, autour de l'étoile étudiée, d'un astre massif, d'éclat trop faible pour qu'on puisse l'observer directement. La mesure des mouvements propres permet aussi de mettre en évidence des courants d'étoiles (par exemple, celui du Taureau **-+ Hyades)** et d'en déterminer la distance.
Le mouvement propre d'une étoile ne traduit que l'une des composantes de son mouvement réel dans l'espace : celle qui est perpendiculaire à la direction d'observation. Une étoile qui se déplace dans l'espace suivant la ligne de visée a un mouvement propre nul et semble immobile dans le ciel. Pour connaître le mouvement réel d'une étoile, il est donc indispensable de connaître aussi sa composante suivant la direction d'observation, qu'on appelle vitesse radiale.

moyen spatial. Synonyme de système spatial.

moyen, enne adj. Se dit d'un mouvement ou d'une durée définis par des relations complexes, dans lesquelles on se borne à considérer les termes qui croissent comme un polynôme du temps sans s'occuper des termes périodiques.

moyens d'essais (spatiaux). Ensemble des équipements et des installations pour tester les engins spatiaux et contrôler leur aptitude à supporter les contraintes d'un lancement et d'un séjour dans l'espace. **ESTEC, Intespace.**

Mrkos (comète). Comète brillante découverte en 1957, à l'oeil nu, par l'astronome amateur tchèque dont elle porte le nom. Désignation officielle : 1957 V.

Mu (ou **M).** Lanceurs spatiaux japonais développés par l'ISAS*.
ENCYCL. *Les* lanceurs Mu sont des fusées à poudre utilisées depuis 1971. Cinq générations successives ont été construites : la première, Mu-4S, était une fusée à quatre étages, haute de 23,6 m pour 1,41 m de diamètre, pesant 43,6 t au décollage et permettant de placer 180 kg de charge utile en orbite circulaire à 250 km d'altitude. Ont été mises en service successivement ensuite les versions, à trois étages, Mu-3C (1974), Mu-3H (1977) et Mu-3S (1980), grâce auxquelles la capacité de satellisation en orbite circulaire basse a été portée à 195 kg, puis 290 kg. Depuis 1985 est utilisée une cinquième version, Mu-3S II, dotée de propulseurs d'appoint et, éventuellement, d'un quatrième étage. Cette version est encore plus performante puisqu'elle permet de satelliser 770 kg en orbite terrestre basse ou 170 kg en orbite solaire : elle a servi notamment à lancer les sondes Suisei* et Sakigake* vers la comète de Halley et la sonde Muses* A vers la Lune.

Mullard (observatoire de radioastronomie). Observatoire de radioastronomie de l'université de Cambridge (Angleterre), fondé en 1946.
ENCYCL. Son principal instrument est un radio-interféromètre constitué de 8 antennes paraboloïdales de 13 m de diamètre chacune, réparties sur une ligne est-ouest de 5 km de long. L'une des spécialités de cet observatoire est l'établissement de catalogues de radiosources (désignés par un numéro d'ordre suivi de la lettre C, initiale de Cambridge). Les premiers pulsars* y ont été détectés en 1967, et l'on y a découvert aussi de nombreux quasars* ainsi qu'un grand nombre de radiogalaxies*.

multimiroir adj. Se dit d'un télescope dont le miroir primaire est constitué de plu-

acms miroirs distincts fournissant des images **que** l'on fait converger en un même **point, en** vue d'obtenir une image résultante **équivalente** à celle que donnerait un miroir **inique** de plus grand diamètre.

multiple (étoile). Système d'au moins **trois** étoiles (appelées *composantes* du **système)** liées par leur attraction gravitationnelle mutuelle. Par exemple, s de la Lyre **constitue** un spécimen célèbre d'étoile quadruple et 9 d'Orion un spécimen d'étoile **sextuple.**

Multiple Mirror Telescope. Télescope multimiroir américain, mis en service en **1979** à l'observatoire EL. Whipple, en Arizona, sur le mont Hopkins, à 2 600 m d'altitude.
Ses miroirs ont été remplacés en 1996 par un miroir unique (monolithique) de 6,5 m de diamètre. L'instrument a pris alors la nouvelle appellation de *Monolithic Mirror Telescope.*

multiplet n.m. 1. Ensemble de plusieurs lentilles accolées, formant un système centré. 2. Ensemble de plusieurs raies spectrales très voisines dans le spectre d'émission d'un atome.

Mur (le Grand) ou **Muraille (la Grande).** Chaîne de galaxies mises en évidence en 1989 par les Américains Margaret Geller et John Huchra, du Centre d'astrophysique de Cambridge, aux États-Unis. Répartie surplus de 120° sur le ciel, elle s'étend sur plus d'un milliard d'années de lumière de longueur, environ 400 millions d'années de lumière de largeur et 30 millions d'années de lumière d'épaisseur.

Murphrid (d'une locution arabe signifiant *l'étoile de la lance,* par allusion à la représentation ancienne de la constellation). Étoile r| du Bouvier. Magnitude apparente visuelle : 2,7. Type spectral : G0. Distance : 32 années de lumière.

Mus. Abréviation de *Musca,* désignant la constellation de la Mouche.

Musca (ae). Nom latin de la constellation de la Mouche (abrév. *Mus).*

Muses A. Première sonde spatiale japonaise destinée à l'étude de la Lune.
ENCYCL. Lancée de Kagoshima le 24 janvier 1990 par une fusée M3SII, elle a d'abord été placée sur une orbite très elliptique, de 435 000 km environ d'apogée, qu'elle décrivait en douze jours. Puis, le 19 mars 1990, alors qu'elle se trouvait à 16 472 km de la Lune, elle s'est scindée en deux. Le premier de ces deux éléments, le plus léger (11 kg), dénommé Hagoromo *(voile d'un ange),* s'est placé en orbite autour de la Lune. Le second, appelé Hiten *(jeune fille céleste),* était un véhicule spatial de 185 kg, doté d'un moteur pouvant être mis en marche à volonté et d'une réserve de combustible (hydrazine*). Au terme de savantes manœuvres télécommandées depuis la Terre, elle s'est écrasée sur la Lune le 10 avril 1993, près du cratère Furnerius, par 55,3° N. et 34,0° S. Elle avait pour principal objectif de permettre l'étude de nouvelles trajectoires susceptibles de conduire des engins légers vers la Lune ; elle a permis d'étudier aussi le champ de gravitation lunaire. Avec le lancement de cette sonde, le Japon est devenu la troisième puissance spatiale à envoyer un engin vers la Lune (après l'ex-URSS et les États-Unis).

Mylar. Nom commercial d'un film plastique transparent fabriqué par la firme américaine Du Pont de Nemours.
ENCYCL. C'est un polyester (très exactement un téréphtalate de polyéthylène) qui se prête à diverses applications industrielles (emballage, électronique, etc.).
Partiellement aluminisé, le Mylar constitue l'enveloppe des montgolfières infrarouges (MIR) utilisées par le CNES.

n

N (galaxies). Type de galaxies actives, caractérisées par un noyau extrêmement lumineux, d'aspect quasistellaire, entouré d'une très faible nébulosité (peut-être une galaxie elliptique).

N. Lanceurs spatiaux japonais développés par la NASDA.
ENCYCL. Les lanceurs N comportent trois étages, les deux premiers à propergol liquide, le troisième à poudre et des propulseurs d'appoint à poudre améliorant la poussée au décollage. La première version, NI, mise en service en 1975, dérivait du lanceur américain Thor-Delta. Longue de 32,6 m pour un diamètre maximal de 2,44 m, pesant 90 t au départ et disposant de 3 propulseurs d'appoint, elle assurait une poussée au décollage de 1 490 kN. Elle était capable de placer une charge utile de 800 kg en orbite basse autour de la Terre ou de 130 kg sur l'orbite géostationnaire. Une version améliorée, N2, disposant d'étages plus performants et de 9 propulseurs d'appoint, a été introduite en 1981. Longue de 35,4 m, pesant 134,5 t au départ, elle fournit une poussée au décollage de 2 200 kN et peut placer 1 600 kg en orbite basse ou 350 kg sur l'orbite géostationnaire.

N-Star. Famille de satellites géostationnaires japonais de télécommunications qui ont succédé à la série CS 3.
En début de vie, leur masse en orbite est d'environ 2 t. Leur espérance de vie est de dix ans. Deux exemplaires ont été lancés par Ariane : N-Star A (1995) et N-Star B (1996).

NI. Fusée géante construite par l'URSS dans les années 60 en vue d'envoyer des hommes sur la Lune.
ENCYCL. Conçue par S. Korolev*, cette fusée était haute de 105 m pour un diamètre à la base de 17 m et avait une masse au décollage de 2 200 t. Elle était propulsée au départ par 30 petits moteurs de 1 500 kN de poussée, fixés à la base du premier étage. Lancée de Baïkonour*, elle devait satelliser en orbite terrestre un complexe spatial de 95 t, comportant un vaisseau destiné à faire atterrir un homme sur la Lune et à le ramener sur la Terre. La fusée connut quatre échecs en vol et, à l'issue du dernier, le 23 novembre 1972, au terme de 107 s d'ascension, sa construction a été abandonnée.

nadir n.m. (de l'arabe *nazir,* opposé [au zénith]). 1. Direction située selon la verticale et vers le centre de la Terre. 2. Point de la sphère céleste situé dans cette direction. Le nadir est le point opposé au zénith.

Nahuel 1. Premier satellite argentin de télécommunications, lancé le 30 janvier 1997 par Ariane.

Naïade. Satellite de Neptune (n° VI), découvert en 1989 par la sonde américaine Voyager 2. Nom international : *Naiad.* Demi-grand axe de son orbite : 48 000 km. Période de révolution sidérale : 6 h 57 min. Diamètre : ~ 60 km.

naine blanche. Étoile de température superficielle relativement élevée (~ 10 000 K) et de luminosité très faible (de l'ordre du millième de celle du Soleil).

BKYCL Son rayon, très petit, de l'ordre de celui de la Terre, pour une masse voisine de celle du Soleil, lui confère une masse volumique moyenne très élevée, de l'ordre de la tonne par cm^3 ; la matière y est dégénérée*. L'état de naine blanche constitue l'étape ultime de l'évolution des étoiles peu massives.

naine brune. Étoile hypothétique de faible masse, restée trop froide pour être le siège de réactions nucléaires.
ENCYCL. Les naines brunes pourraient être une composante de la matière* noire de l'Univers. On s'efforce de détecter celles qui seraient présentes autour de notre galaxie en utilisant l'effet de microlentille* gravitationnelle qu'elles doivent provoquer sur des étoiles plus lointaines, situées dans des galaxies voisines.

naine n.f. Étoile ou galaxie naine.

Nançay. Commune située à 18 km au N.-E. de Vierzon (Cher), siège d'une station de radioastronomie rattachée à l'Observatoire de Paris.
ENCYCL. L'instrument principal, spécifiquement destiné aux études galactiques et extragalactiques, en particulier à 18 cm (raies du radical OH) et 21 cm (raie de l'hydrogène neutre) de longueur d'onde, est un grand radiotélescope de 7 000 m^2 de surface utile, associant un miroir sphérique fixe de 300 m de long et 35 m de haut et un miroir plan mobile constitué de 10 panneaux de 20 m sur 40 ; divers autres instruments autorisent l'étude du Soleil sur une gamme de longueurs d'onde allant de quelques centimètres à une dizaine de mètres.

nanosatellite n.m. Petit satellite pesant entre un et dix kilogrammes.

NASA (sigle de *National Aeronautics and Space Administration).* Organisme fondé en 1958, chargé de diriger et de coordonner les recherches aéronautiques et spatiales civiles aux États-Unis.
ENCYCL. La NASA a succédé au NACA (*National Advisoty Committee for Aeronautics),* avec des attributions beaucoup plus étendues. Son siège administratif est à Washington. Elle dispose de deux bases de lancement, l'une sur la côte est (John F. Kennedy* Space Center, cap Canaveral), l'autre sur la côte ouest (Vandenberg) des États-Unis, et de plusieurs centres spatiaux dont les plus connus sont Ames (Mountain View, Californie), Goddard (Greenbelt, Maryland), Langley (Hampton, Virginie), Lewis (Cleveland, Ohio), le Jet* Propulsion Laboratory (Pasadena, Californie), qui dépend de plusieurs organismes, et le Johnson Space Center (Houston*, Texas) pour les vols habités. En 1999, elle emploie près de 20 000 personnes et son budget est de 13,46 milliards de dollars, consacrés principalement aux vols habités (40,9 %, dont 23 % pour la navette* et 17 % pour la Station* spatiale internationale), aux programmes scientifiques (15,3 %), à l'observation de la Terre (10,2 %), à l'aéronautique (9,6 %), etc. Depuis 1991, elle doit opérer d'importantes réductions budgétaires.

NASDA (acronyme de *NAtional Space Development Agency of Japan,* Agence nationale de développement spatial du Japon). Agence spatiale du Japon, créée en 1969.
ENCYCL. Elle est chargée principalement de la mise au point et du développement de lanceurs et de satellites destinés à des applications civiles ; du lancement, de la poursuite et de la commande des satellites ; de la réception et du traitement des données en matière de télédétection spatiale ; ainsi que de la promotion d'expérimentations dans l'espace. Elle exploite notamment le Centre spatial de Tanegashima, le Centre spatial de Tsukuba et le Centre de propulsion de Kakuda.

Nasmyth (James), ingénieur écossais (Édimbourg 1808-Londres 1890).
11 est l'inventeur de la combinaison optique permettant, dans les télescopes à monture altazimutale, de former l'image hors de l'axe du miroir principal, en un point fixe.

NASP (sigle de *National AeroSpace Plane).* Projet américain d'avion orbital, monoétage, à décollage et à atterrissage horizontaux, conçu pour atteindre des vitesses hypersoniques (jusqu'à Mach 25) et se satelliser autour de la Terre.
ENCYCL. Aujourd'hui abandonné, ce pro-

gramme, qui a mobilisé les chercheurs de cinq grandes entreprises aérospatiales américaines, de plus de 500 sous-traitants et de 15 laboratoires gouvernementaux, a eu des retombées technologiques importantes, notamment dans le domaine des matériaux et dans celui des techniques de simulation. Il a été remplacé en 1995 par le HySTP.

National Optical Astronomy Observatories. Organisme créé aux Etats-Unis en 1984 pour administrer les équipements nationaux d'astronomie optique installés dans les observatoires de Kitt* Peak, de Cerro* Tololo et de Sacramento* Peak.

National Radio Astronomy Observatory. Ensemble d'équipements de radioastronomie exploités, aux États-Unis, par *un* consortium d'universités, en coopération avec la National Science Foundation. Les instruments exploités par le NRAO sont le *Very Large Array* [VLA], au Nouveau-Mexique, un radiotélescope de Kitt Peak, dans l'Arizona, consacré à l'astronomie en ondes millimétriques, et les radiotélescopes de l'observatoire de Green Bank, en Virginie-Occidentale.

NATO (sigle de *North Atlantic Treaty Organization, en* français, OTAN, Organisation du traité de l'Atlantique Nord). Satellites de télécommunications géostationnaires mis en orbite depuis 1970 pour assurer les liaisons entre les états-majors des différents pays membres de l'OTAN et avec le SHAPE (quartier général des puissances alliées en Europe de l'Ouest), en Belgique.

navette spatiale. Véhicule aérospatial réutilisable conçu pour assurer la desserte des stations spatiales en orbite basse mais pouvant assurer d'autres types de mission en orbite.

ENCYCL. Pendant exactement vingt ans (avril 1961-avril 1981), un seul type de véhicule spatial fut utilisé pour lancer des astronautes et des cosmonautes dans l'espace : la capsule. Celle-ci, malgré de nombreux inconvénients, offrait deux avantages majeurs : une simplicité de conception et un coût relativement limité. Mais, le 12 avril 1981, les États-Unis ont mis en service un nouveau système de lancement dont un élément - l'orbiteur - est réutilisable : c'est le premier véhicule spatial de ce type. Lieu de vie et de travail pour l'équipage, il peut aussi transporter jusqu'à 30 t de charge utile (satellites, laboratoire, éléments de station orbitale...). Il décolle comme un lanceur (verticalement), gravite comme un satellite artificiel puis revient sur Terre comme un planeur. Incapable de décoËer par ses propres moyens, cet avion spatial doit obligatoirement être emporté, jusqu'en orbite, par un système propulsif très puissant. Les États-Unis ont choisi de faire soulever l'orbiteur et son volumineux réservoir au moyen de deux propulseurs à poudre. Mais ce n'est pas l'unique possibilité puisque, dans la navette russe, l'orbiteur était accroché sur le côté du lanceur Energia, tandis que dans le projet de navette européenne aujourd'hui abandonné l'avion spatial (Hermes) devait être placé à l'extrémité du lanceur Ariane 5.

LA NAVETTE AMÉRICAINE. Elle se compose de plusieurs éléments principaux : un orbiteur, son réservoir extérieur et deux propulseurs à poudre.

- L'orbiteur ressemble à un avion à aile delta (longueur : 37 m ; envergure : 24 m ; masse à vide : 70 t). Sa structure est en alliage d'aluminium. Les ailes et le fuselage sont recouverts d'une protection thermique souple pour la partie supérieure et de tuiles de silice pour la partie inférieure. Le nez et le bord d'attaque des ailes et de la dérive, particulièrement exposés à un flux thermique élevé lors de la rentrée atmosphérique, sont recouverts de carbone.

La partie avant de l'orbiteur est constituée par l'habitacle, où prend place l'équipage. Deux étages sont habitables : le pont supérieur avec le poste de pilotage et de commande de l'orbiteur, le pont intermédiaire avec les couchettes, la cuisine, le cabinet de toilette, l'avionique et un sas pressurisé pour les sorties extravéhiculaires. Un pont inférieur contient divers équipements (pompes à eau, climatisation, purificateurs d'air, etc.). L'habitacle est pressurisé (on y évolue sans scaphandre et l'air respiré est identique à celui de l'atmosphère terrestre) et peut accueillir jusqu'à huit astronautes pour des missions de deux à trois semaines. Son volume est de 71 m^3. La partie centrale de

Forbiteur est occupée par une soute, d'un **volume de** 300 m^3 (longueur : 37 m ; diamè**tre** : 4,5 m), dans laquelle est installée la **charge** utile, dont la nature varie d'une mis**sion** à l'autre. Un bras télémanipulateur, de **15 m de** long, fixé contre la paroi interne de **la soute,** permet de manipuler des satellites **(pour** les extraire de la soute ou, au contraire, les y installer) ou peut servir de plate-forme pour les astronautes durant les activités extravéhiculaires. Des caméras et **des** projecteurs en facilitent l'utilisation.

À l'arrière de l'orbiteur, le compartiment de propulsion comprend les trois moteurs principaux (poussée unitaire : 1 670 kN) et les **deux** moteurs secondaires de manœuvre (poussée unitaire : 26,7 kN), utilisés aussi pour la désorbitation.

- Le réservoir extérieur (longueur : 47 m ; diamètre : 8,4 m) contient les ergols cryotechniques (environ 600 t d'oxygène liquide et 100 t d'hydrogène liquide) qui alimentent les trois moteurs principaux de l'orbiteur. Il est décroché en fin d'ascension, juste avant l'obtention de la vitesse de satellisation : il retombe ensuite, en débris dans l'océan ; c'est le seul élément consommable de la navette.

- Les deux propulseurs à poudre, longs de 45 m, sont remplis de 500 t de poudre chacun (poussée unitaire : 12 900 kN). Ils jouent le rôle de premier étage. Décrochés 130 s après le décollage, ils retombent en mer sous parachutes, ce qui permet leur récupération.

CYCLE D'UTILISATION. Lorsqu'elle est prête au lancement, la navette - qui pèse alors 2 000 t - décolle sous la poussée des propulseurs à poudre (pour 85 %) et celle des moteurs principaux de l'orbiteur (pour 15 %).

Dix minutes plus tard, après s'être débarrassé des propulseurs (2 min 10 s après le décollage) et de son réservoir (9 min après le décollage), l'orbiteur se retrouve en orbite basse (vers 250 ou 300 km d'altitude), animé de la vitesse de satellisation (28 000 km/h), à la suite de l'impulsion fournie par les deux moteurs secondaires.

Débute alors la phase d'exploitation proprement dite, qui peut comprendre des événements variés : mise sur orbite de plusieurs satellites, réalisation d'un programme de recherches soit dans l'habitacle, soit dans un laboratoire (du type Spacelab) installé dans la soute, sorties* extravéhiculaires pour réparer un satellite ou le récupérer et le ramener au sol.

Sa mission achevée, l'orbiteur se prépare à revenir sur Terre : pour cela, il effectue un demi-tour sur lui-même, et ses deux moteurs secondaires sont utilisés comme rétrofusées pour réduire la vitesse d'environ 300 km/h et placer l'avion sur une trajectoire de rentrée. L'orbiteur reprend ensuite son attitude normale et entame sa descente vers l'atmosphère.

C'est alors un mauvais planeur d'au moins 801. En l'absence de tout moteur suffisamment puissant, il ne peut pas maîtriser sa descente ni s'y reprendre à deux fois. Par contre, sa voilure delta va lui donner des possibilités que n'avaient pas les capsules spatiales classiques, lesquelles, au retour, une fois la descente amorcée, suivaient passivement des trajectoires balistiques. Dans l'atmosphère, il va retrouver le comportement d'un avion hypersonique classique et, du fait d'une bonne manœuvrabilité, il peut se déporter considérablement (jusqu'à 2 000 km) de part et d'autre de sa trajectoire de rentrée.

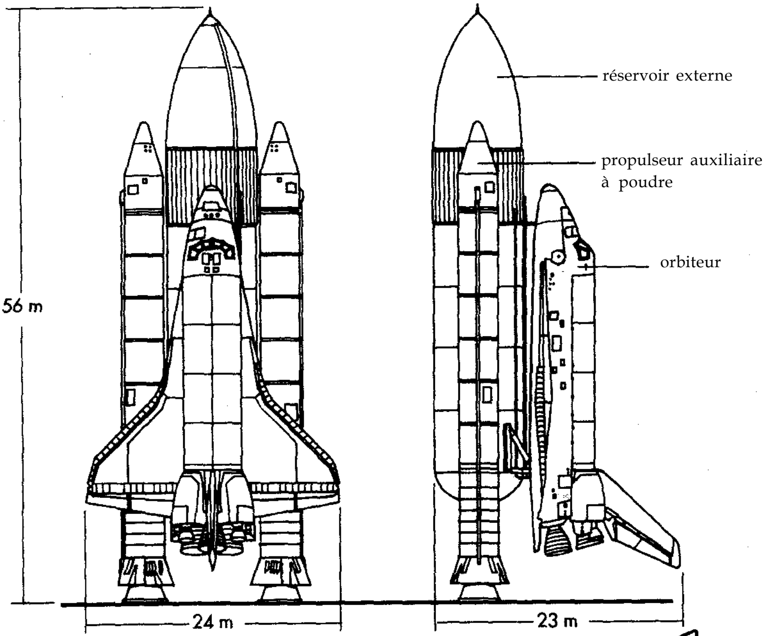
En permanence, il faut concilier diverses exigences : éviter une rentrée trop rapide, qui créerait un flux thermique trop élevé, ou trop lente, qui entraînerait l'orbiteur bien au-delà de la piste d'atterrissage ; ne pas soumettre l'équipage à des décélérations trop importantes (elles doivent rester inférieures à 1,5 g), etc. Cela explique que le trajet orbite terrestre-sol dure une trentaine de minutes pour l'orbiteur contre une quinzaine seulement (avec des décélérations de l'ordre de 4 à 8 g) dans le cas des capsules Apollo.

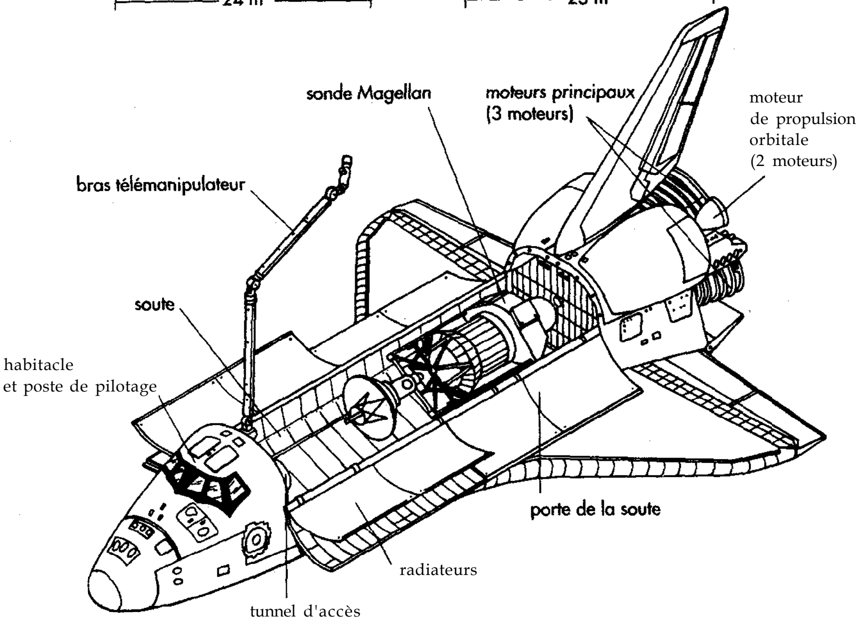
Les manœuvres sont faites automatiquement mais à tout moment les pilotes peuvent reprendre la commande manuelle de l'engin. Lorsque la piste est en vue, le train d'atterrissage est sorti et l'orbiteur se pose.

S'il n'a pas atterri sur sa base de départ (cas le plus fréquent), il y sera transporté sur le dos d'un Bœing 747 spécialement aménagé à cet effet. Soumis à une révision complète et remis en état, l'orbiteur est alors prêt pour une nouvelle mission.

En dix-huit années d'exploitation de la navette (avril 1981-avril 1999), la NASA a réa-

Navette spatiale américaine au décollage (en haut) et en configuration de vol (en bas, avec la sonde Magellan dans la soute de l'orbiteur)





lisé quatre-vingt treize missions au moyen de cinq orbiteurs (Columbia, Challenger, Discovery, Atlantis et Endeavour) qui ont transporté plus de cinq cents passagers. Plus de deux cents astronautes différents d'une douzaine de nationalités ont cumulé de l'ordre de 120 000 heures de présence dans l'espace, soit l'équivalent de quatorze années. L'explosion en vol de Challenger, le 28 janvier 1986, a provoqué la mort de sept astronautes et l'arrêt du programme pendant plus de trente mois. Les lancements de la navette ont néanmoins repris à l'automne 1988 au rythme moyen de six à huit par an. Le 24 juillet 1991, le vice-président des États-Unis, Dan Quayle, présentant à Vandenberg la nouvelle politique spatiale américaine, annonçait qu'aucun autre orbiteur ne serait construit, que l'exploitation de la « flotte » disponible serait prolongée mais que le temps était venu de produire une nouvelle famille de lanceurs classiques, consommables, capables de satelliser des charges moyennes et lourdes.

LA NAVETTE RUSSE. Le 15 novembre 1988, l'URSS procède au premier lancement de sa navette spatiale. Contrairement à ce qui se passe dans le système américain, l'orbiteur russe ne participe pas à la poussée initiale : il se comporte comme une charge utile passive, accrochée au lanceur Energia. Que ce soit par son aspect extérieur (avion à voilure delta, dérive arrière, protection thermique bicolore...) ou ses caractéristiques générales (longueur : 36 m ; envergure : 24 m ; diamètre du fuselage : 5,6 m ; superficie de l'aile : 250 m^2 ; habitacle de 70 m^3 ; soute d'une longueur de 18,3 m et d'un diamètre de 4,7 m, etc.), cet orbiteur - dénommé Bourane - est très semblable aux orbiteurs américains. Sa masse peut atteindre 105 t au décollage et 82 t à l'atterrissage. Il peut emporter jusqu'à 30 t de charge utile en orbite basse et ramener sur Terre une vingtaine de tonnes.

Seule différence notable : alors que le groupe de propulsion des orbiteurs américains est équipé de trois moteurs principaux et de deux moteurs secondaires, Bourane n'en possède que deux - sans réservoir extérieur -, utilisés en fin d'ascension (pour obtenir la vitesse de satellisation) et au retour (pour la désorbitation).

Pour son premier et unique vol, la navette russe a été testée sans équipage, de façon entièrement automatique : en 3 h 25 min, Bourane a parcouru deux fois le tour du globe terrestre et est revenue se poser à Baïkonour, à une douzaine de kilomètres de son aire de lancement.
Les autorités russes ont par la suite fait savoir que ce premier orbiteur ne volerait plus et que le programme de navette spatiale était abandonné.

navigation n.f. Art de conduire un véhicule spatial à une destination donnée, par la détermination de sa position, le calcul de sa trajectoire optimale et le guidage par référence à celle-ci.

navigation spatiale. 1. Navigation dans l'espace. 2. Navigation à l'aide de systèmes spatiaux.
ENCYCL. Il existe trois méthodes fondamentales de navigation dans l'espace : la navigation astronomique, la navigation inertielle et la radionavigation. La navigation astronomique consiste à mesurer les angles entre les axes reliant l'engin spatial considéré à des astres du système solaire (Soleil, planètes) ou les angles que forment ces axes avec les directions d'étoiles connues. La navigation inertielle se fonde sur le calcul de la vitesse et de la position de l'engin spatial à partir de l'accélération, mesurée par des accéléromètres disposés soit directement sur l'engin, soit (dans les systèmes de navigation précis) sur une plate-forme stabilisée. Enfin, dans la radionavigation, la position et la vitesse de l'engin spatial sont déterminées à l'aide de liaisons radio avec des stations terriennes.
L'origine de la navigation par satellite remonte au premier satellite artificiel, Spoutnik 1, en 1957. En mesurant, à partir d'une station terrienne, la fréquence d'émission de l'engin, les chercheurs du Laboratoire de physique appliquée de l'université John Hopkins, aux Etats-Unis, constatèrent une variation apparente de celle-ci, imputable à l'effet Doppler (lié au déplacement relatif du satellite et des observateurs au sol). Des mesures précises du phénomène leur permirent alors de déterminer l'orbite complète du satellite. Peu après, ils comprirent qu'inversement un navigateur pourrait trouver sa posi-

tion en mesurant l'effet Doppler affectant les ondes envoyées par un satellite qui émet sur une fréquence fixe donnée à partir d'une orbite connue avec une grande précision. Sur cette base s'est constitué le système Transit*, à présent remplacé par le système GPS*-Navstar, beaucoup plus performant, comme son équivalent russe Glonass*.

Navire (Argo). Ancienne constellation australe qui symbolisait le vaisseau sur lequel s'embarquèrent les Argonautes pour aller prendre la Toison d'or. Très étendue, elle a été divisée, dans la nomenclature moderne, en trois constellations : la Carène*, la Poupe* et les Voiles*.

Navstar (abréviation de *NAVigation STAR,* étoile pour la navigation). Autre nom du système de navigation GPS*.

NEAR (sigle de l'angl. *Near Earth Asteroid Rendezvous,* rendez-vous avec un astéroïde proche de la Terre). Sonde américaine destinée à l'étude détaillée de l'astéroïde Éros, dont l'orbite passe au voisinage de la Terre.
ENCYCL. Première sonde du programme Discovery* de la NASA, NEAR a été lancée le 17 février 1996. Le 27 juin 1997, elle est passée à moins de 1 800 km de l'astéroïde Mathilde* dont elle a pris quelque 500 vues. Elle devait ensuite se placer en orbite autour de l'astéroïde Éros le 10 janvier 1999 après une série de trois manœuvres destinées à lui permettre de rattraper sa cible et de s'en approcher doucement. Mais la première de ces manœuvres a avorté, le 20 décembre 1998, à la suite d'une défaillance du moteur de la sonde et d'une perte momentanée de contact avec l'engin. NEAR n'a fait que survoler rapidement Éros, le 23 décembre 1998, d'une distance minimale de 4 100 km, et en prendre 28 clichés. Après une correction de trajectoire effectuée le 3 janvier 1999, un nouveau rendez-vous avec l'astéroïde est attendu en février 2000.

nébuleuse n.f. Nuage de gaz et de poussières interstellaires.
ENCYCL. On distingue plusieurs types de nébuleuses, qui correspondent à des concentrations de matière interstellaire placées dans des conditions différentes.
Les nébuleuses diffuses, les plus froides (100 à 200 K) et les moins denses (quelques atomes par cm^3), sont formées surtout d'hydrogène neutre, et appelées, de ce fait, « régions HI ». Elles se manifestent notamment par une émission intense de rayonnement radioélectrique à 21 cm de longueur d'onde. Au voisinage des étoiles chaudes, sources puissantes de rayonnement ultraviolet, l'excitation du gaz interstellaire engendre des nébuleuses brillantes constituées majoritairement d'hydrogène ionisé, d'où leur nom de « régions HII », dont la température varie de 5 000 à 10 000 K et la densité de 50 à 1 *000* atomes par cm^3. Ces nébuleuses se manifestent notamment par l'émission d'une radiation rouge intense (raie Ha). À ce type se rattache, par exemple, la célèbre nébuleuse d'Orion.
La formation de nouvelles étoiles s'effectue au cœur d'immenses nuages moléculaires*. Certaines nébuleuses sont, au contraire, associées au stade final de l'évolution stellaire : ainsi, les nébuleuses planétaires (ainsi nommées en raison de leur aspect lorsqu'on les observe avec de petits instruments, qui rappelle celui des planètes), enveloppes gazeuses sphériques éjectées par des étoiles devenues instables, qui se diluent dans l'espace en quelques dizaines de milliers d'années, et les restes de supernovae, enveloppes riches en éléments lourds éjectées lors de l'explosion cataclysmique d'étoiles massives et précédées par une onde de choc qui comprime et chauffe le milieu interstellaire. Certaines nébuleuses, enfin, ne se manifestent que par la poussière qu'elles renferment en abondance : tel est le cas des nébuleuses obscures, qui absorbent la lumière des astres situés derrière et se détachent en ombres chinoises sur le fond étoilé du ciel.

nébuleuse solaire. Appellation usuelle de la nébuleuse qui aurait donné naissance au système solaire. **cosmogonie.**

nébulium n.m. (de *nébuleuse).* Élément chimique hypothétique auquel on attribua initialement les raies* brillantes du spectre des nébuleuses brillantes et planétaires, découvertes en 1914. Cet élément chimique n'existe pas et les raies observées correspondent à des raies interdites d'atomes et d'ions communs (azote ou oxygène, en particulier).

Neptune. Planète du système solaire située au-delà d'Uranus", découverte en 1846 par l'Allemand J.G. Galle sur les indications de Le Verrier.

ENCYCL. Cette planète est beaucoup mieux connue depuis son survol, à moins de 5 000 km de distance, par la sonde américaine Voyager 2, en 1989. À l'instar d'Uranus, elle est enveloppée d'une épaisse atmosphère à base d'hydrogène, d'hélium et de méthane (absorbant les radiations rouges, ce dernier gaz est responsable, avec la diffusion de la lumière solaire par les molécules de l'atmosphère, de la teinte bleue de la planète). Mais cette atmosphère apparaît beaucoup plus turbulente et dynamique que celle d'Uranus. On y observe, en particulier, de nombreux nuages semblables à des cirrus qui se déplacent à grande vitesse (leur rotation autour de la planète s'effectue en 18 h à l'équateur et en 16 h près des pôles) et dont la durée de vie est très courte. Dans l'hémisphère sud, près de l'équateur, tourne une grande tache sombre. Celle-ci rappelle, par son aspect, la grande tache rouge de Jupiter, et elle est sans doute aussi le siège de violents mouvements tourbillonnaires, mais les mouvements des nuages environnants sont différents de ceux que l'on décèle sur Jupiter. Le moteur de l'activité atmosphérique se situe, semble-t-il, à l'intérieur de la planète. Le champ magnétique de Neptune a, lui aussi, réservé quelques surprises. Son axe est non seulement incliné de 50° par rapport à l'axe de rotation, mais il est aussi décalé de près de 8 000 km, l'équateur magnétique ne passant pas par le centre de la planète, ce qui constitue une dissymétrie unique dans le système solaire.

Comme on le présumait depuis des observations effectuées à partir de la Terre en 1984 et 1985, Neptune est entourée d'un système d'anneaux formés de roches et de poussières. Cinq anneaux distincts ont été identifiés, dont deux très diffus, à des distances comprises entre 42 900 et 62 900 km

CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES DE NEPTUNE

Diamètre équatorial	49 532 km (3,88 fois celui de la Terre)
Diamètre polaire	48 690 km
Aplatissement	0,017
Masse par rapport à celle de la Terre	17,14
Densité moyenne	1,64
Accélération de la pesanteur à l'équateur	1,12 fois celle de la Terre
Vitesse de libération	23,52 km/s
Période de rotation sidérale	16 h 6,6 min
Inclinaison de l'équateur sur l'orbite	29,56°
Albédo	0,53
Intensité du champ magnétique	$1{,}4 \cdot 10^{-5}$ T (à la surface)

CARACTÉRISTIQUES ORBITALES DE NEPTUNE

Demi-grand axe de l'orbite	4 504 000 000 km, soit 30,109 6 ua
Distance maximale au Soleil	4 540 000 000 km
Distance minimale au Soleil	4 460 000 000 km
Excentricité	0,009
Inclinaison sur l'écliptique	1° 47'
Période de révolution sidérale	164 ans 280,3 j
Vitesse orbitale moyenne	5,48 km/s
Période de révolution synodique	1 an 2,2 j
Distance maximale à la Terre	4 650 000 000 km
Distance minimale à la Terre	4 350 000 000 km

de la planète. Le plus extérieur renferme trois régions de plus forte densité qui correspondent aux arcs observés depuis la Terre. Voyager 2 a permis aussi la découverte de six nouveaux satellites de Neptune, portant à huit le nombre de satellites connus de la planète.
Des images obtenues parle télescope spatial Hubble* ont révélé, en 1994, d'importants changements dans l'atmosphère de Neptune par rapport aux observations qu'avait effectuées Voyager 2. On a constaté, en particulier, la disparition de la grande tache sombre dans l'hémisphère sud et l'apparition temporaire de nuages brillants dans la région polaire nord. Ces modifications confirment que l'atmosphère de Neptune est beaucoup plus active que celle d'Uranus.

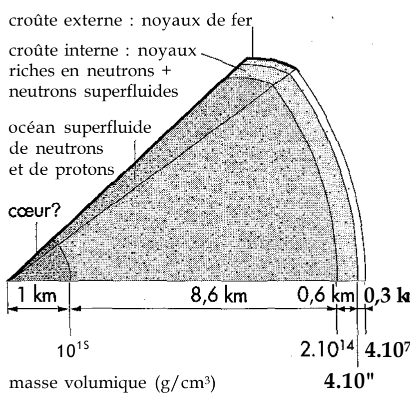
Néréide. Satellite de Neptune (n° II), découvert en 1949 par l'Américain G.P. Kuiper.
ENCYCL. Demi-grand axe de son orbite : 5 510 000 km. Période de révolution sidérale : 360,21 j. Diamètre estimé : 400 km. Nom international : *Nereid.* De tous les satellites naturels du système solaire, c'est celui dont l'orbite est la plus elliptique : au cours d'une révolution, il s'approche à 140 000 km seulement de Neptune avant de s'en éloigner à 9 500 000 km. En outre, son orbite est très fortement inclinée (28°) sur le plan équatoriai de la planète. II pourrait s'agir d'un astéroïde qui a été capturé par le champ d'attraction de Neptune. D'après certaines observations effectuées depuis la Terre, ce satellite présenterait une teinte rougeâtre et de surprenantes variations cycliques d'éclat, sur des périodes de quelques heures.

neutrino n.m. Particule de charge nulle et de masse nulle ou très faible, dont il existe plusieurs espèces, associées aux différents leptons chargés (électron, muon, tau).
ENCYCL. Les neutrinos revêtent une grande importance en astrophysique. Émis par les réactions nucléaires qui ont lieu au cœur du Soleil*, ils constituent une source précieuse d'informations sur la structure interne de cette étoile, dans la mesure où, une fois émis, ils n'ont qu'une probabilité infime d'être réabsorbés, à la différence des photons, qui n'ont aucune chance de *nous* parvenir depuis le cœur du Soleil Or, le flux de neutrinos observe est nettement inférieur aux prédictions théoriques, sans que l'on sache encore s'il faut incriminer notre connaissance des propriétés du neutrino ou celle de la structure profonde du Soleil. → **Gallex.** Les neutrinos, s'ils ont une masse, même très faible, pourraient constituer une composante de la matière* noire et permettre à la densité de matière de l'Univers d'être supérieure à la densité* critique. En 1998, une équipe de physiciens japonais et américains a annoncé avoir mis en évidence à l'aide du détecteur japonais Super-Kamiokande, un déficit de neutrinos de basse énergie attribuée à la transformation de neutrinos nuoniques en un autre type de neutrino, et qui impliquerait que les neutrinos ont une masse très faible.

neutron n.m. Particule électriquement neutre, dont la masse est très voisine de celle du proton.

neutrons (étoile à). Étoile extrêmement dense et de très petites dimensions, constituée essentiellement de neutrons.
ENCYCL. D'une masse comprise entre 1,5 et 3 fois la masse du Soleil et d'un rayon de l'ordre de 10 km seulement, les étoiles à neutrons (*voir* figure) ont une masse volumique moyenne de l'ordre de 100 millions de tonnes par cm^3. Elles constituent le résidu

Structure d'une étoile à neutrons



stellaire des explosions des supernovae et se manifestent à l'observation en tant que pulsars*.

New Technology Telescope (NTT). Télescope optique doté d'un miroir primaire de 3,50 m de diamètre, mis en service en 1989 à l'observatoire européen austral de La Silla, au Chili.

ENCYCL. La particularité essentielle de cet instrument est d'avoir un miroir primaire relativement mince (24 cm d'épaisseur) et déformable, qui repose sur 75 vérins motorisés, permettant d'optimiser la forme de sa surface réfléchissante durant les observations par la technique de l'optique* active. Par ailleurs, ce télescope, doté d'une monture azimutale, est logé dans un bâtiment qui a été conçu après des essais en soufflerie pour minimiser la turbulence atmosphérique : ce bâtiment, octogonal, tourne en même temps que le télescope autour d'un axe vertical, pour amener l'ouverture du toit dans la direction d'observation souhaitée. Le plancher est réfrigéré et les écarts entre la température à l'extérieur et celle à l'intérieur sont réduits au maximum. Un système de contrôle autorise une très grande précision de pointage et de suivi des astres visés. Enfin, l'instrument peut être piloté en temps réel depuis le siège de l'European* Southern Observatory, près de Munich, grâce à des liaisons par satellite. Le NTT a été conçu comme un banc d'essai de nouvelles technologies, en prélude à la construction du VLT *(Very* Large Telescope).*

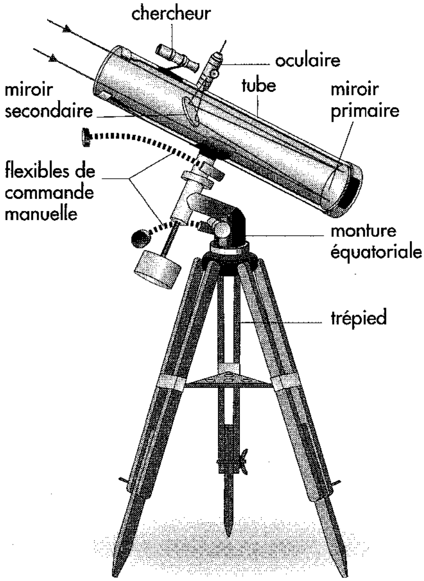
Newcomb (Simon), mathématicien et astronome américain (Wallace, Nouvelle-Écosse, 1835-Washington 1909).
Calculateur au *Nautical Almanac Office* (1857-1877), puis surintendant de l'*American Ephemeris* et du *Nautical Almanac* (1877-1897), il a particulièrement étudié les mouvements de la Lune et des planètes.

newton (prononcer *nioutôn)* n.m. Unité de force (symb. : N) correspondant à une accélération de 1 m/s par seconde communiquée à une masse de 1 kg. Le décanewton (daN), qui vaut 10 N, et le kilonewton (kN), qui vaut 1 000 N, sont des unités dérivées.

Newton (sir Isaac), physicien, mathématicien et astronome anglais (Woolsthorpe, Lincolnshire, 1642-Londres 1727).
Après des études au Trinity College de Cambridge, il devint professeur de mathématiques à l'université de Cambridge, en 1669. Nommé en 1672 membre de la Royal Society, il en devint président en 1703.
En mécanique, Newton réunit le premier en une théorie scientifique complète et rigoureuse les acquisitions antérieures importantes, mais en les rectifiant en partie, en leur donnant toute leur généralité, et en les complétant, essentiellement par la notion de gravitation universelle qui identifie, quant à leur nature, la pesanteur terrestre et les attractions entre les corps célestes.
La mécanique de Newton, exposée dans ses *Principes mathématiques de philosophie naturelle* (1687), est fondée sur trois principes :
- le principe d'inertie ;
- la proportionnalité de la force à l'accélération ;
- l'égalité de l'action et de la réaction. Newton, qui avait adhéré à l'héliocentrisme, appliqua sa mécanique à l'explication des mouvements des planètes et de la Lune, qui n'avait été que partiellement établie par Kepler* et à un degré de précision plus faible. Il expliqua aussi la précession des équinoxes, les marées et l'aplatissement de la Terre, grâce aux mesures de l'astronome J. Picard* (v. 1670). La mécanique de Newton sera, sans modification de fond, la base de tous les développements ultérieurs de la mécanique (mécanique céleste notamment) jusqu'à l'avènement de la théorie de la relativité*.
En optique, outre la réalisation du premier télescope (1671), l'apport de Newton concerne surtout la théorie des couleurs fondée sur l'étude de la dispersion de la lumière blanche par le prisme. Ses premiers travaux à ce sujet datent de 1666 et d'un mémoire fameux présenté à la Royal Society en 1672, où il s'opposa à Hooke. Mais leur exposé développé ne se trouve que dans son *Optique* (1704).

Newton (télescope Isaac-). Télescope de 2,5 m de diamètre implanté à l'observatoire Roque* de los Muchachos, et dont l'utilisation est partagée entre le Royaume-Uni, l'Espagne et les Pays-Bas. Installé pri-

Télescope de **Newton**



mitivement à Herstmonceux, site de l'observatoire de Greenwich de 1948 à 1990, il a été transféré ensuite à son emplacement actuel, où il est entré en service en 1984, en étant doté d'un nouveau miroir.

Next. Projet de petit lanceur commercial israélien développé à partir du lanceur Shavit.
ENCYCL. Mesurant 20 m de haut environ et pesant 30 t, il comprendra quatre étages, dont trois à poudre et le dernier à ergols liquides. Il est destiné au lancement de petits satellites pesant jusqu'à 500 kg environ.

NGC. Sigle de *New General Catalogue,* désignant le catalogue des nébuleuses, amas stellaires et galaxies publié par J.L.E. Dreyer* en 1888. Suivi d'un numéro d'ordre, ce sigle sert à désigner les objets répertoriés dans le catalogue.

NGST (sigle de l'angl. *New Génération Space Telescope,* télescope spatial de nouvelle génération). Projet de télescope de la NASA pour assurer la succession du télescope spatial Hubble.
ENCYCL. Les études préliminaires envisagent un télescope très léger, de plus de 4 m de diamètre (donc, au miroir probablement segmenté). Son développement pourrait commencer en 2003, en vue d'un lancement en 2007. Il serait placé en orbite au point de Lagrange* L2 du système Terre-Soleil, à I 500 000 km environ de la Terre en direction du Soleil. Optimisé pour des observations dans l'infrarouge, de 1 à 5 pm de longueur d'onde, il serait parfaitement complémentaire des très grands télescopes terrestres et des autres observatoires spatiaux prévus à cette échéance. L'Agence spatiale européenne devrait y participer à hauteur de 15 % ou plus.

Nice (observatoire de). Observatoire astronomique, édifié en 1881 sur le mont Gros grâce au mécène Raphaël Bischoffsheim et qui constitue depuis 1988 l'une des composantes de l'observatoire de la Côte d'Azur.
ENCYCL. Il abrite l'une des plus grandes lunettes du monde (0,76 m d'ouverture, 18 m de distance focale), sous une coupole réalisée par Gustave Eiffel. Il est le siège, depuis 1973, d'un centre de dépouillement des clichés astronomiques.

Nicollier (Claude), astronaute suisse (Vevey 1944).
En juillet 1978, il est sélectionné comme astronaute par l'ESA, puis retenu en mai 1980 par la NASA pour suivre un entraînement de spécialiste de mission.
II a participé à trois vols sur la navette américaine : STS 46 en 1992 (il devient alors le premier spationaute suisse), STS 61 en 1993 et STS 75 en 1998. Il totalise plus de 828 heures dans l'espace.
En octobre 1999, il doit participer à la troisième mission de maintenance du télescope Hubble (STS 103).

Nilesat 101. Premier satellite égyptien, construit en Europe, mis en orbite géostationnaire le 28 avril 1998 par Ariane pour la télévision directe. C'est aussi le premier satellite du continent africain.

Nimbus. Satellites météorologiques américains expérimentaux, destinés principale-

ment à l'étude et à la mise au point des technologies permettant la reconstitution, depuis l'espace, des profils atmosphériques. La série a comporté 7 engins, lancés entre 1964 et 1978.

Nix Olympica. Ancienne dénomination du volcan martien éteint appelé aujourd'hui *Olympus Mons.*

NL. Abréviation de nouvelle lune.

NOAA (sigle de *National Oceanic and Atmospheric Administration,* Administration atmosphérique et océanique nationale). Agence fédérale des États-Unis, créée en 1970 et regroupant divers organismes océanologiques : *National Marine Fisheries Service, National Océanographie Data Center* et surtout l'ESSA *(Environmental Science Services Administration)* [prévision marine, exploration du plateau continental],
ENCYCL. Son siège est à Washington. Elle dispose d'une trentaine de navires. Elle est aussi chargée de l'exploitation opérationnelle de satellites météorologiques et de télédétection. Au 1er janvier 1999,15 satellites NOAA avaient été lancés. -» **météorologie spatiale, observation de la Terre**

NOAO. Sigle *de National Optical Astronomy Observatories.*

Nobeyama. Localité du Japon, à 150 km à l'ouest de Tokyo, sur un haut plateau (1 350 m d'altitude), près de laquelle sont implantées une station de radioastronomie solaire et une station de radioastronomie cosmique de l'observatoire astronomique de Tokyo.
ENCYCL. La station de radioastronomie solaire, construire en 1970, comprend divers instruments pour l'étude du Soleil à des longueurs d'onde allant de plusieurs mètres à quelques centimètres. Elle abrite notamment deux interféromètres : l'un, fonctionnant sur 160 MHz, comporte neuf antennes paraboliques de 6 m de diamètre et deux de 8 m alignées selon la direction est-ouest, ainsi que six antennes de 6 m de diamètre alignées selon la direction nord-sud ; l'autre, fonctionnant sur 17 GHz, se compose d'une douzaine d'antennes de 1,2 m de diamètre alignées selon la direction est-ouest. La station de radioastronomie cosmique, inaugurée en 1982, abrite un radiotélescope à antenne unique parabolique de 45 m de diamètre et un interféromètre formé de cinq antennes de 10 m de diamètre, construits tous deux pour capter les ondes millimétriques.

Noël (étoile de) Mages (étoile)

nœud n.m. Chacune des deux intersections de l'orbite d'un corps en mouvement orbital avec un plan de référence, qui est en général l'écliptique (cas des planètes ou des sondes en orbite autour du Soleil), le plan équatorial du corps principal (cas des satellites) ou le plan tangent à la sphère céleste (cas des étoiles doubles).
ENCYCL. L'un des nœuds est appelé *nœud ascendant,* l'autre, *nœud descendant.* Par convention, si le plan de référence est le plan équatorial du corps principal, le nœud ascendant est celui que le satellite franchit en traversant ce plan du sud vers le nord. La longitude céleste du nœud ascendant est l'un des éléments orbitaux. La *ligne des nœuds* est l'intersection du plan orbital et du plan de référence.

nombre d'or. Rang d'une année dans le cycle* de Méton (19 ans), constituant l'un des éléments du comput* ecclésiastique.
ENCYCL. Introduit au Ve s. av. J.-C. par l'astronome athénien Méton, ce nombre fut jugé si important pour l'établissement du calendrier que les Grecs le gravaient en lettres d'or sur leurs monuments publics, d'où son nom. Pour l'établissement du comput ecclésiastique, l'an 1 de l'ère chrétienne s'est vu attribuer conventionnellement le nombre d'or 2.

nominal, e adj. Qualifie une grandeur, un état ou un processus conforme à une référence prédéterminée, aux erreurs de mesure près.

Noordwijk. Ville des Pays-Bas (Hollande-Méridionale), sur la mer du Nord, près de Leyde ; 22 400 habitants. Siège de l'ESTEC*.

Nor. Abréviation de *Norma,* désignant la constellation de la Règle.

Norad (abrév. de *NORth American aerospace Defense command).* Organisme chargé de la défense aérienne de l'Amérique du Nord.
ENCYCL. Son centre de commandement, le *Space Surveillance Center* (SSC), est, depuis 1966, enfoui sous la montagne Cheyenne, près de Colorado Springs, dans le Colorado. A partir des éléments fournis par un réseau de radars et de systèmes optiques répartis sur les cinq continents, il suit en permanence tous les corps en orbite autour de la Terre (-• **débris spatiaux).** Les plus petits objets que les radars puissent discerner en orbite mesurent 10 cm ; la limite de détection passe à 1 m pour un objet situé à environ 4 000 km. Plus performante, la surveillance optique permet de photographier des objets de 10 cm jusqu'à 8 000 km et de 25 cm sur l'orbite géostationnaire. Le SSC reçoit en moyenne 40 000 observations quotidiennes, qui lui permettent notamment de prévoir les dates et lieux de retombée d'objets spatiaux et de prévenir les nations concernées. Le catalogue établi par le Spadoc (*SPAce Defense Opération Center),* le département spatial du Norad, recense chaque objet spatial lancé depuis Spoutnik 1, en 1957. Les principaux radars qui forment le réseau de Norad sont installés en Alaska, au Groenland et en Ecosse. D'autres ont été mis en service plus récemment au cap Cod dans le Massachusetts, en Géorgie, en Californie, au Texas et dans le nord du Dakota. Cette couverture doit être complétée par des radars transhorizon, capables de porter jusqu'à 3 000 km par réflexion sur l'ionosphère, et par des radars de grande puissance Haystack, qui permettront de suivre des débris de 1 cm seulement. Les systèmes optiques ont longtemps consisté en un réseau de télescopes-caméras du type Baker-Nunn, dotés d'un obturateur tournant. Ce réseau est maintenant complété par un nouveau système, le GEODSS *(Ground based Electro Optical Deep space Surveillance System),* qui compte déjà quatre stations sur les cinq prévues. Chaque installation comprend deux télescopes de 1 m d'ouverture et un plus petit de 40 cm, reliés à des caméras vidéo dont les images alimentent directement un ordinateur. Ce système a toutefois l'inconvénient de ne fonctionner que la nuit et par ciel dégagé.

Nordic Optical Telescope (NOT). Télescope de 2,5 m de diamètre à monture azimutale installé à l'observatoire Roque* de los Muchachos par la Suède, la Norvège, la Finlande et le Danemark et mis en service en 1989.

Norma. Nom latin de la constellation de la Règle (abrév. *Nor).*

NOT. Sigle de *Nordic Optical Telescope.*

nouvelle lune. Phase de la Lune correspondant au début d'une lunaison, lorsque la Lune, pour un observateur terrestre, se trouve pratiquement dans la même direction que le Soleil. Elle tourne alors vers la Terre son hémisphère obscur et, de ce fait, est inobservable dans le ciel.

nova n.f. (pl. *novae)* [du latin *nova Stella,* étoile nouvelle]. Etoile qui, soudainement, devient quelque 10 000 à 100 000 fois plus brillante pendant un laps de temps très court, de l'ordre de quelques heures à un jour, et paraît constituer ainsi une étoile nouvelle, qui reprend peu à peu son éclat initial après plusieurs mois (novae rapides) ou plusieurs années (novae lentes).
ENCYCL. La brusque augmentation d'éclat est due à l'explosion des couches superficielles de l'étoile. Pour la plupart des novae, il est généralement admis que cette explosion est causée par des réactions thermonucléaires à la surface d'une naine* blanche, chaude (température superficielle de l'ordre de 10 000 K), appartenant un système binaire très serré (distance approximative entre les composantes : 1 million de km), dont la deuxième composante est une étoile 100 fois plus grosse, plus froide (température superficielle de l'ordre de 5 000 K), qui évolue vers le stade de géante* rouge. La naine blanche exerce une forte attraction gravitationnelle sur les couches extérieures en expansion, riches en hydrogène, de la géante. Il y a transfert de masse de la géante vers la naine blanche sous la forme d'un jet en spirale en formant un disque d'accrétion aplati tournant à très grande vitesse autour de la naine blanche. Au contact avec la surface de l'étoile, la matière fortement accélérée est portée à haute température : quand

cette dernière atteint 20 millions de degrés environ, les réactions nucléaires s'amorcent et conduisent à une libération d'énergie de 10^{44} à 10^{45} ergs qui est explosive car la matière en cause est un gaz dégénéré, donc incompressible.
Cependant, de nombreux problèmes se posent encore, notamment celui de l'appartenance de toutes les novae à un système binaire cataclysmique. Par ailleurs, le mécanisme d'explosion n'est pas connu dans le détail ignore encore le rôle joué par les instabilités dans la composante secondaire, dans le disque d'accrétion... Il en est de même pour le processus de perte de masse des novae, les propriétés la prénova et son évolution jusqu'au maximum de brillance, cette pfaase étant très difficile à observer à cause de son caractère fugitif (1 à 2 jours). Pour Élire progresser les études théoriques, de nouvelles données sont indispensables et doivent être fournies par des observations détaillées portant sur le plus grand nombre possible de novae. Malheureusement, ces objets sont relativement rares : on estime qu'une vingtaine seulement apparaissent annuellement dans une galaxie spirale typique, mais la plupart sont situées dans des légions riches en matière interstellaire et en poussières absorbantes qui empêchent de les voir.

Novespace. Société anonyme créée le 8 juillet 1986 par le CNES, huit établissements bancaires et l'ANVAR pour valoriser les technologies spatiales auprès des secteurs industriels non spatiaux et promouvoir les futures utilisations industrielles et commerciales de l'espace. Elle commercialise notamment des vols* paraboliques permettant d'obtenir pendant de brefs instants des conditions de micropesanteur.
ADRESSE : 15, rue des Halles, 75001 Paris.

noyau n.m. 1. Partie solide, permanente, d'une comète. Loin du Soleil une comète se réduit à son noyau. 2. Partie centrale et la plus dense d'une étoile, où se déroulent les réactions thermonucléaires. 3. Partie centrale et la plus dense d'une planète. 4. Région centrale d'une galaxie, où la densité et la luminosité sont maximales. Lorsque le noyau a une luminosité exceptionnelle, on parle de *noyau actif.*

Nozomi (mot japonais signifiant *espoir).* Sonde japonaise destinée à l'étude de Mars.
ENCYCL. Appelée initialement Planet-B, cette sonde de 540 kg constitue la première sonde martienne japonaise. Elle doit se placer en orbite autour de Mars pour étudier la structure et la dynamique de sa haute atmosphère ainsi que pour la photographier. Lancée de Kagoshima le 3 juillet 1998, elle a d'abord suivi une trajectoire complexe entre la Lune et la Terre, afin de pouvoir s'élancer à moindre coût vers Mars, qu'elle devait atteindre en octobre 1999. Mais, à la suite d'une défaillance de son moteur, le 20 décembre 1998, la sonde a dû être maintenue sur une orbite d'attente et n'arrivera à proximité de Mars qu'en décembre 2003.

NRAO. Sigle de *National Radio Astronomy Observatory.*

NTT. Sigle de *New Technology Telescope.*

nuage de Oort **Oort**

nuage interstellaire. Synonyme de nébuleuse.

Nuages de Magellan **Magellan (Nuages de)**

nucléosynthèse n.f. Ensemble des processus qui conduisent à l'apparition des éléments chimiques constituant la matière de l'Univers.
ENCYCL. Les éléments légers, hydrogène et hélium, constituent la part prépondérante (soit 97 % environ en masse) de la matière dans l'Univers, et cette abondance ne peut s'expliquer par la nucléosynthèse qui s'opère dans les régions centrales des étoiles*. En effet, l'hélium produit dans les étoiles, par les réactions de fusion thermonucléaire à partir de l'hydrogène, est consumé au cours des réactions de fusion ultérieures qui produisent des éléments plus lourds. Les éléments les plus légers (hydrogène, deutérium, hélium) on été vraisemblablement synthétisés dans la phase initiale très chaude et dense de l'Univers (-• **Big Bang).** Les

autres éléments légers (lithium, béryllium, bore) sont synthétisés dans les galaxies par transformation de certains atomes (carbone, oxygène, azote, essentiellement) du milieu interstellaire soumis au bombardement des particules de haute énergie du rayonnement cosmique*. La nucléosynthèse des éléments plus lourds s'effectue dans les étoiles au cours des différentes étapes de leur évolution. Jusqu'au fer, les éléments sont produits par des réactions de fusion successives, soit en phase calme, soit en phase explosive (-• **supernova).** Les éléments plus lourds que le fer ne peuvent être produits par le mécanisme de fusion. Divers phénomènes complexes de capture de neutrons par les noyaux, dans le stade de géante rouge ou au cours de l'explosion des supernovae, expliquent leur formation. L'ensemble de ces mécanismes permet finalement d'expliquer l'origine des éléments présents dans l'Univers.

nuit n.f. Intervalle de temps qui s'écoule entre le coucher et le lever du Soleil en un lieu donné d'une planète ou d'un satellite du système solaire

ENCYCL. Sur la Terre, la nuit a, comme le jour, une durée variable selon la latitude. La succession du jour et de la nuit est déterminée par la rotation de la Terre ; l'inégalité de leur durée, par l'inclinaison de l'axe autour duquel s'effectue cette rotation. Suivant les positions que la Terre occupe par rapport au Soleil, les différents points du globe accomplissent alternativement dans la lumière et dans l'ombre des trajets inégaux.

—• **saison**

nutation n.f. (du latin *nutatio,* balancement). Petit mouvement périodique que subit l'axe de rotation de la Terre autour de sa position moyenne et qui s'ajoute à la précession (*voir* figure illustrant « précession »).

ENCYCL. La nutation a été découverte en 1748 par J. Bradley*. La Terre n'étant pas une sphère homogène, les forces d'attraction exercées par le Soleil et par la Lune sur son bourrelet équatorial font que l'axe de rotation de la planète n'a pas une direction fixe dans l'espace. Le point vernal* (ou point y), n'est donc pas fixe sur l'écliptique et l'obliquité de l'écliptique, c'est-à-dire l'angle que fait l'équateur avec l'écliptique, varie au cours du temps.

La mécanique céleste permet de calculer les mouvements du point y et les variations de l'obliquité de l'écliptique. Les fonctions du temps que l'on obtient comportent des termes dits séculaires parce qu'ils augmentent ou diminuent constamment avec le temps, et des termes périodiques. On convient d'appeler *précession** les phénomènes représentés par les termes séculaires et *nutation* ceux représentés par les termes périodiques. La nutation se traduit par une oscillation de l'axe de rotation de la Terre d'une amplitude maximale de 17,2" sur une période de 18,6 ans environ. Elle a pour effet de modifier les coordonnées équatoriales des étoiles.

O

O. Type spectral caractérisant, dans la classification de Harvard, les étoiles dont la température superficielle est supérieure à 30 000 K : des étoiles bleues dont le spectre est dominé par les raies de l'hélium neutre et ionisé, du carbone doublement ionisé et du silicium triplement ionisé. Exemple : X Orion.

OAO (sigle de *Orbiting Astronomical Observatory).* Nom donné à des satellites astronomiques américains lancés entre 1966 et 1972.

ENCYCL. OAO 1, mis en orbite le 8 avril 1966, tomba rapidement en panne. OAO 2, lancé le 7 décembre 1968, fut le premier satellite à effectuer une étude systématique du ciel dans l'ultraviolet, et OAO 3 [rebaptisé Copernicus à l'occasion du 500e anniversaire de la naissance de Copernic], mis en orbite le 21 août 1972, étudia les sources célestes de rayonnements X et ultraviolet.

Obéron. Satellite d'Uranus (n° IV), découvert en 1787 par W. Herschel. Demi-grand axe de son orbite : 582 600 km. Période de révolution sidérale : 13,463 2 j. Diamètre : 1 520 km. Densité moyenne : 1,63.

ENCYCL. La surface d'Obéron a été photographiée par la sonde américaine Voyager 2 en 1986. Elle est grêlée de très nombreux cratères d'impacts, ce qui atteste de son ancienneté, mais on y observe peu de traces de modifications du relief survenues depuis la fin de la période de cratérisation et révélatrices d'une certaine activité interne. Tout au plus, le fond de nombreux cratères paraît-il tapissé d'un matériau sombre qui pourrait être d'origine plus récente.

Oberth (Hermann), ingénieur et physicien allemand, pionnier de l'astronautique (Hermannstadt, auj. Sibiu, Roumanie, 1894-Feucht, près de Nuremberg, 1989).

ENCYCL. Il commença à réfléchir aux voyages dans l'espace dès l'âge de douze ans, fasciné par la lecture des ouvrages de Jules Verne. À partir de 1919, il étudia la physique à Klausenburg (auj. Cluj, en Roumanie), Munich, Gôttingen et Heidelberg. Un opuscule qu'il publia en 1923, *la Fusée dans les espaces interplanétaires,* le Ht connaître. Il s'agissait, en fait, du texte d'un projet de thèse qu'il avait proposé à l'université de Heidelberg l'année précédente et qui avait été refusé car jugé trop peu sérieux. Dans ce petit livre figurait pourtant la démonstration d'un certain nombre de notions aujourd'hui admises, par exemple le fait qu'une fusée puisse fonctionner dans le vide ou qu'elle puisse atteindre une vitesse supérieure à celle des gaz qu'elle éjecte. De même, Oberth avait compris qu'il serait possible à une fusée de placer une charge utile en orbite autour de la Terre, pourvu que la vitesse requise fût atteinte, condition qui l'amena, à la suite de Tsiolkovski et de Goddard, à étudier plusieurs combinaisons d'ergols. Il traitait enfin de diverses applications de la technique des fusées. Nommé en 1924 professeur de mathématiques et de physique au lycée allemand de Médias, en Transylvanie, il développa ses idées dans un ouvrage beaucoup plus important, *la Route des voyages spatiaux,* qui parut à Munich en 1929, constituant le premier véritable traité d'astronautique : Oberth y passe notamment en revue les divers modes de propulsion spatiale, préconisant le recours à des moteurs ioniques

pour obtenir des performances supérieures à celles des fusées chimiques. Il imagine aussi la navette spatiale, qu'il dénomme *Pendelrakete.*, et prévoit l'utilisation de stations orbitales pour l'observation de la Terre et de satellites pour la recherche astronomique ou météorologique, les télécommunications, l'aide à la navigation, etc. Salué par Robert Esnault-Pelterie comme la « bible de l'astronautique scientifique » , cet ouvrage valut à son auteur le prix REP-Hirsch de la Société astronomique de France.

À la différence de Goddard, Oberth ne ménagea pas ses efforts pour diffuser ce qui concernait la technique des fusées et ses travaux personnels. En 1928, il devint le conseiller scientifique de la société UFA et du réalisateur Fritz Lang pour le tournage du film intitulé *Une femme dans la Lune.* Cela lui donna l'occasion d'étudier une fusée expérimentale à ergols liquides, dont le lancement devait coïncider, à des fins publicitaires, avec la sortie du film. Davantage théoricien qu'ingénieur, Oberth ne réussit pas à tenir la gageure. Cependant, le petit moteur expérimental qu'il construisit, le *Kegeldtise,* fut essayé avec succès au sol le 23 juillet 1930.

Dès 1927, Oberth avait adhéré à la *Verein fur Raumschiffahrt* (la célèbre VFR, Société pour la navigation interplanétaire), qui venait d'être fondée, avec pour premier objectif la construction de petites fusées à liquides. Il en devint président en 1929. Affecté à Peenemùnde en juillet 1941, avec pour mission d'optimiser des fusées à plusieurs étages, il y travailla jusqu'en septembre 1943 sans jamais participer au développement en cours de l'Aggregat 4, c'est-à-dire du V 2, bien que ce fussent ses travaux théoriques et ses expériences qui en avaient permis la construction.

Resté en Allemagne en 1945, il s'installa ensuite en Suisse (1948), puis en Italie (1950) avant de se rendre aux Etats-Unis, en 1955, et d'y séjourner plusieurs années, à Huntsville, aux côtés de Wernher von Braun, qu'il conseilla pour le scénario du vol piloté vers la Lune. En 1960, il rentra en Allemagne et s'établit à Feucht, où il acheva sa vie dans une semi-retraite.

objectif n.m. Élément d'un instrument d'optique tourné vers l'objet qu'on veut observer, par opposition à l'oculaire, contre lequel on place l'œil.

objet spatial. Synonyme de *engin spatial.*

observation de la Terre. Ensemble des techniques (photographie dans le visible ou l'infrarouge, étude par radar, etc.) permettant d'obtenir, depuis l'espace, des vues de la Terre.

ENCYCL. L'objectif très général de l'observation de la Terre est d'obtenir une connaissance quantitative et suffisamment détaillée des variations de l'environnement terrestre en vue d'organiser une gestion rationnelle des ressources naturelles. Il s'agit notamment d'explorer les ressources limitées ou lentement renouvelables que constituent les sols, les eaux et l'atmosphère, d'établir l'inventaire de ces ressources et de tenir à jour cet inventaire ; d'observer et de quantifier, dans leur diversité régionale et temporelle, les processus écologiques naturels, induits ou modifiés par les activités humaines ; de contribuer à l'efficacité d'activités telles que la pêche et l'agriculture ; de surveiller des phénomènes naturels ou artificiels dangereux (inondations, sécheresse, pollution) ; de détecter des évolutions préjudiciables telles que l'érosion des sols ou la désertification, etc. Cet objectif ambitieux met en œuvre des programmes de recherche, d'étude et d'expérimentations multidisciplinaires s'appuyant sur un ensemble de moyens complémentaires et auxquels les satellites apportent désormais une contribution essentielle.

Dès les années 60, l'étude des photographies rapportées par les équipages des programmes de vols pilotés américains Gemini et Apollo et de celles transmises par les satellites météorologiques, lorsqu'elles étaient exemptes de nuages, révéla les potentialités de l'observation spatiale de la Terre comme nouvelle source d'informations : possibilité d'obtenir des informations homogènes sur de grandes étendues et d'obtenir périodiquement le même type de données sur une zone définie, accès à une grande diversité d'informations par l'observation à différentes longueurs d'onde.

L'orbite géostationnaire (équatoriale à quelque 36 000 km d'altitude) permet l'observa-

tion très répétitive d'une vaste zone de la Terre, mais avec une résolution limitée à quelques centaines de mètres en raison de l'altitude. Elle est utilisée par un réseau de satellites météorologiques positionnés de manière à assurer la couverture complète du Globe. **météorologie spatiale**

Les orbites basses (de 600 à 900 km environ) sont utilisées pour obtenir des images offrant une résolution plus fine. Elles doivent être circulaires pour que la résolution obtenue pour un type d'instrument donné soit constante tout au long de l'orbite ; quasi polaires pour permettre d'observer la Terre entière ; héliosynchrones* pour que la succession des images d'une même zone soit toujours prise à la même heure solaire (afin que l'intensité d'éclairement et donc de réflexion du sol reste la même) ; et phasées, c'est-à-dire choisies de telle sorte que, après un certain nombre de révolutions, le satellite repasse à la verticale du même point à la même heure locale.

Les premiers satellites d'observation de la Terre ont été le satellite américain expérimental ERTS 1, lancé en 1972, qui a inauguré la série des Landsat*. La France, en collaboration avec la Suède et la Belgique, développe la filière de satellites SPOT*, dont le premier a été placé sur orbite en 1986. L'Europe développe les satellites ERS*, dont le premier a été mis en orbite en 1991 et qui, grâce à un radar à synthèse d'ouverture, permettent des observations tout temps, de jour comme de nuit. La France et les États-Unis ont réalisé en collaboration le satellite Topex*-Poséidon, lancé en 1992, destiné à l'observation de la surface des océans par la technique d'altimétrie spatiale. L'Europe et les États-Unis préparent des plates-formes conçues pour recevoir des charges utiles correspondant à des missions variées et qui seront placées en orbite polaire au début du xxie siècle.

Observatoire de Paris. Établissement de recherche astronomique français, fondé en 1667, à Paris.

ENCYCL. C'est le plus ancien observatoire au monde à être encore utilisé pour la recherche. Son statut actuel est celui d'un établissement public national, à caractère scientifique, culturel et professionnel, placé sous la tutelle directe du ministère chargé de la Recherche. Le bâtiment historique constitue toujours le siège de l'Observatoire. Il abrite aujourd'hui des laboratoires, un musée scientifique et une importante bibliothèque, ainsi que l'horloge parlante diffusant l'heure légale en France. Toutefois, le site reste utilisé pour des observations astrométriques à l'astrolabe.

L'observatoire de Meudon* constitue depuis 1926 la section d'astrophysique de l'Observatoire de Paris, auquel est également rattachée, depuis 1954, la station de radioastronomie de Nançay*.

observatoire n.m. Établissement spécialement affecté aux observations astronomiques.

occultation n.f. Disparition temporaire d'un astre derrière un autre de diamètre apparent supérieur.

ENCYCL. En pratique, les occultations les plus fréquemment observées par les astronomes amateurs sont des occultations d'étoiles ou de planètes par la Lune. La plus ancienne observation connue d'occultation remonte à Aristote (ive siècle av. J.-C.), qui, dans son ouvrage *Du ciel,* mentionne la disparition de Mars derrière la Lune. Selon Kepler, ce phénomène se serait produit le 4 avril 357 avant notre ère. Ce n'est qu'au xviie siècle, après l'invention de la lunette, que les observations d'occultations sont devenues régulières. En 1637, l'Anglais Jeremiah Horrocks observa l'occultation de l'amas des Pléiades* par la Lune. Il constata que chaque étoile disparaissait instantanément derrière le bord de la Lune et en déduisit que leur diamètre apparent était très faible. Le 28 mai 1737, un autre Anglais, John Bevis, réussit, à l'aide d'une lunette de 70 mm de diamètre, à l'observatoire de Greenwich, une observation restée unique jusqu'à présent : celle de l'occultation de Mercure par Vénus. Le 10 mars 1977, c'est lors de l'occultation d'une modeste étoile de la Balance (SAO 158 687) par Uranus que des astronomes américains sont parvenus à détecter pour la première fois la présence d'anneaux de matière autour d'Uranus, grâce à une série de

brusques diminutions d'éclat de l'étoile enregistrées avant et après l'occultation proprement dite.

océanographie spatiale. Science ayant pour objet l'étude des océans au moyen de satellites artificiels.
ENCYCL. La surface du Globe est, à 70 %, couverte par les océans, dont l'importance – d'un point de vue géophysique, chimique, biologique et économique – est aujourd'hui reconnue. En particulier, du fait de leur aptitude au stockage, au transport et à l'échange (avec l'atmosphère) de matière et d'énergie, ils semblent jouer un rôle déterminant dans les phénomènes climatiques, avec une constante de temps de plusieurs décennies.
La compréhension des mécanismes mis en jeu passe notamment par une description des océans : courants, marées, houle, vagues, température, etc. Des données sur ces phénomènes doivent être recueillies de façon régulière sur de longues périodes et sur l'ensemble du Globe. Pour y aider, le satellite a pour lui des atouts importants : couverture dense et synoptique, à l'échelle planétaire, pendant des années, répétitivité des mesures, rapidité de la collecte et de la diffusion des résultats... Lui seul est capable de fournir aux scientifiques le flux d'informations nécessaire à la mise au point des modèles mathématiques qui rendront compte de la circulation océanique générale.
Un satellite océanographique sert donc de plate-forme d'observation à divers instruments (altimètre, radiomètre, radar imageur, diffusomètre...) grâce auxquels on peut déterminer la température de surface de l'eau, son contenu en chlorophylle, la vitesse du vent sur la mer, l'étendue et l'âge des glaces océaniques, la teneur de l'atmosphère en vapeur d'eau et en eau liquide, l'état de la mer, la topographie de surface, etc.
Néanmoins, comme ces données ne concernent que la surface des océans, des mesures complémentaires in situ demeurent indispensables, par exemple au moyen de navires spécialisés, de bouées dérivantes (dont les informations peuvent, elles aussi, être collectées par satellite), de courantomètres, de bouées immergées en profondeur, de mesures électromagnétiques fond de mer et de sondages acoustiques.
L'observation des océans depuis l'espace commence véritablement en 1978 avec le lancement, par les États-Unis, de Seasat 1, le premier satellite océanographique. D'autres programmes, en cours d'exploitation ou en projet, devraient provoquer le développement de cette discipline d'ici à la fin du siècle : ERS 1 (1991, Europe), Topex-Poséidon (1992, États-Unis-France), JERS 1 (1992, Japon), Radarsat (1995, Canada), ERS 2 (1995, Europe), Adeos (1996, Japon), Envisat 1 (Europe, 2000), Jason 1 (France-États-Unis, 2000), etc.

Oct. Abréviation de *Octans,* désignant la constellation de l'Octant.

Octans (-antis). Nom latin de la constellation de l'Octant (abrév. *Oct*).

Octant (en latin *Octans, -antis*). Constellation australe, introduite par La Caille en 1752, qui englobe le pôle céleste sud. Elle ne renferme que des étoiles peu brillantes, dont la principale a une magnitude apparente de 3,7.

octant n.m. Ancien instrument d'astronomie nautique, de conception analogue au sextant, mais qui comportait un secteur gradué de 45°, soit un huitième de circonférence.

oculaire n.m. Dans un instrument d'optique composé, système de lentilles devant lequel on place l'œil.
ENCYCL. L'oculaire est une loupe perfectionnée qui sert à examiner l'image très petite donnée par l'objectif. En pratique, une lentille simple aurait un champ très réduit et serait affectée d'aberrations chromatiques excessives. On utilise donc des oculaires composés : les plus simples comportent deux lentilles (celle qui est la plus proche de l'œil est appelée *lentille d'œil,* et celle qui est la plus proche de l'objectif, *lentille de champ*) et ne conviennent qu'aux instruments dont l'ouverture relative F/D est supérieure à 12. Les instruments très ouverts (rapport F/D voisin de 6) nécessitent des oculaires plus élaborés. Parmi les oculaires à deux lentilles, les plus connus sont l'oculaire de Huygens, formé de deux lentilles plan-convexes tour-

nant leur face convexe vers l'objectif, et l'oculaire de Ramsden, formé de deux lentilles plan-convexes identiques tournant leur convexité l'une vers l'autre. L'oculaire de Huygens est dit négatif car le plan focal où se forme l'image donnée par l'objectif est situé entre les deux lentilles ; au contraire, l'oculaire de Ramsden est dit positif car l'image donnée par l'objectif se forme à l'extérieur des deux lentilles (en fait, sur la face plane de la lentille de champ). Parmi les oculaires plus perfectionnés, on peut citer :
- l'oculaire de Kellner (utilisé dans les jumelles usuelles), qui associe une lentille plan-convexe (lentille de champ) et un doublet achromatique (lentille d'œil) ;
- l'oculaire orthoscopique, constitué d'un triplet achromatique (lentille de champ) comprenant deux lentilles biconvexes de part et d'autre d'une biconcave, et d'une lentille simple plan-convexe (lentille d'œil) tournant sa convexité vers l'objectif ;
- l'oculaire de Plôssl, qui comprend deux doublets achromatiques dont les lentilles biconvexes sont en regard l'une de l'autre.

Alors que le champ apparent des oculaires de Huygens, de Ramsden et de Kellner est voisin de 40°, celui des oculaires orthoscopiques est de 45° environ et celui des oculaires de Plôssl de 50° environ.

Œil de Chat (nébuleuse). Nébuleuse planétaire NGC 6543, dans le Dragon.
ENCYCL. C'est la première nébuleuse planétaire dont on ait obtenu le spectre (W. Huggins, 1864) et l'une des plus complexes que l'on connaisse. Elle se compose d'une bulle de gaz de forme allongée, enveloppée perpendiculairement à son grand axe d'un large anneau gazeux, lui-même entouré d'une autre bulle de gaz d'où s'échappent des jets de matière dans deux directions opposées. Cette étrange configuration résulterait de plusieurs éjections successives de matière par l'étoile située au centre, qui pourrait être en fait une étoile double dont les composantes sont trop proches l'une de l'autre pour qu'on ait réussi, jusqu'à présent, à les séparer. Cette nébuleuse est située à environ 3 000 années de lumière

Offeq (mot hébreu signifiant *horizon*). Satellites israéliens.
ENCYCL. Offeq 1 et Offeq 2, satellites pesant 157 kg, ont été placés en orbite basse autour de la Terre, par une fusée israélienne Shavit*, respectivement le 19 septembre 1988 et le 3 avril 1990. Israël est ainsi devenu la huitième puissance spatiale au monde capable de lancer des satellites par ses propres moyens. Le troisième satellite de la série, Offeq 3, lancé le 5 avril 1995, est un engin de nouvelle génération.

OGO (sigle de *Orbiting Geofhysical Observatory*, observatoire géophysique en orbite). Satellites américains lancés entre 1964 et 1969 pour des recherches en géophysique.
ENCYCL. Six satellites, d'une masse de 475 à 630 kg, ont été lancés et placés les uns en orbite polaire dont l'altitude variait entre 250 et 1 000 km (OGO 1, 2, 4 et 6), les autres sur une orbite très allongée d'environ 270 km de périgée et de 120 000 à 150 000 km d'apogée (OGO 3 et 5).
Ils ont permis d'étudier l'ionosphère, la magnétosphère, les ceintures de rayonnement terrestres et le rayonnement cosmique.

Oiseau de Paradis (en latin *Apus, -odis*). Petite constellation australe introduite par J. Bayer en 1603 dans son *Uranometria* sous le nom d'Oiseau indien et qui s'étend entre l'Octant, au sud, le Compas, le Triangle austral et l'Autel, au nord.
Elle ne renferme que des étoiles de faible éclat, dont les plus brillantes ont une magnitude apparente de 4.

Olbers (Heinrich Wilhelm), astronome allemand (Arbergen, près de Brème, 1758-Brême 1840).
Après avoir retrouvé, grâce aux calculs effectués par Gauss, la petite planète Cérès* découverte par Piazzi, il découvrit Pallas* (1802), puis Vesta* (1807), et émit l'hypothèse selon laquelle les astéroïdes constitueraient les fragments d'une planète disparue. Auteur d'une nouvelle méthode de détermination des orbites des comètes (1797), il s'efforça d'expliquer la formation des queues cométaires (1811) et découvrit une comète périodique (1815).

Olbers (paradoxe d'). Paradoxe formulé en 1826 par H.W. Olbers, qui oppose un fait

d'observation, la noirceur du ciel nocturne, à la conception classique d'un univers euclidien, infini, statique et uniformément peuplé d'étoiles, dans lequel le calcul montre que le ciel nocturne doit apparaître uniformément brillant.

ENCYCL. Ce paradoxe fut soulevé dès le début du xvif siècle par Kepler* avant d'être discuté en 1720 par E. Halley*, en 1743 par J.P.L. de Chéseaux et enfin en 1826 par H.W. Olbers, dont il a gardé le nom ; Halley, de Chéseaux et Olbers crurent pouvoir résoudre ce problème en supposant que l'espace interstellaire est rempli d'un gaz qui absorbe la lumière des étoiles. Bien que l'existence d'un tel gaz, extrêmement ténu, se soit trouvée confirmée par la suite, cette explication n'est pas satisfaisante : on peut prévoir, en effet, que le gaz, s'échauffant progressivement, réémettra finalement autant d'énergie qu'il en absorbe, si l'univers est en équilibre. En revanche, le paradoxe se trouve résolu dans le cadre d'un univers relativiste en expansion, dont l'âge est fini (la vitesse finie de la lumière imposant alors un horizon à l'univers observable), ce qui correspond à la représentation cosmologique encore la plus généralement acceptée aujourd'hui. Par ailleurs, l'hypothèse d'un univers infini, organisé selon une structure hiérarchisée d'étoiles, d'amas stellaires, de galaxies, d'amas de galaxies, etc., où la masse volumique tena vers zéro lorsque le rayon exploré augmente, permet, elle aussi, de lever le paradoxe.

Olympus Mons. Grand volcan bouclier (éteint) de la planète Mars, au nord-ouest de la région de Tharsis.

ENCYCL. C'est la plus haute montagne martienne et le plus grand volcan du système solaire. Son diamètre à la base atteint 600 km et il s'élève à 26 km au-dessus du niveau de référence de la surface de Mars. Sa caldeira a 90 km de large. Il est entouré de falaises de plus de 4 km de hauteur. On l'appelait autrefois *Nix Olympica* (Neige Olympique) parce que les nuages qui le surmontent avaient été remarqués par les observateurs terrestres *comme une* petite tache brillante suggérant la présence de neige.

Olympus 1. Satellite géostationnaire européen de télécommunications expérimentales de forte puissance.

Il a été lancé le 12 juillet 1989 par une fusée Ariane 4. Sa mission a pris fin le 26 août 1993.

ombilical, e adj. En technologie spatiale, qualifie certains équipements dont le rôle rappelle celui du cordon naturel rattachant un fœtus à sa mère : canalisations d'ergols ou liaisons électriques qui alimentent *un* lanceur jusqu'à son décollage, filin qui relie un spationaute - en sortie extravéhiculaire - à son vaisseau, etc.

ombre n.f. 1. Partie centrale, la plus sombre, d'une tache solaire. **2.** Zone sombre de l'espace, résultant de l'interception par un astre de la lumière d'un autre, qui l'éclairé.

ombres volantes. Phénomène observable lors des éclipses totales de Soleil et qui se manifeste par des ombres ondulantes se propageant rapidement sur le sol ou sur toute surface uniforme (mur clair, par exemple), à l'arrivée de l'ombre de la Lune. Les ombres volantes résultent des ondulations des surfaces, qui réfractent alors la lumière issue de la très petite portion du Soleil encore visible comme s'il s'agissait d'une étoile lointaine, à l'aspect ponctuel.

Oméga (nébuleuse). Nébuleuse découverte par Charles Messier en 1746 (et cataloguée M 17), dans la constellation du Sagittaire, à la limite des constellations du Serpent et de l'Écu de Sobieski.

ENCYCL. C'est une région H II, qui doit son rayonnement à l'ionisation de l'hydrogène interstellaire par un groupe d'étoiles chaudes voisines. Elle est associée à un nuage moléculaire, observable dans l'infrarouge et dans le domaine radio, qui est un site de formation d'étoiles et qui renferme de nombreuses sources maser. Son nom vient de la forme qu'elle présente sur les photographies. Elle est située à environ 4 800 années de lumière.

Oméga du Centaure to **Centauri**

onde gravitationnelle. Déformation de l'espace-temps, se propageant à la vitesse de

la lumière, qui serait engendrée par tout ensemble de masses accélérées, d'après la théorie de la relativité générale.

ENCYCL. En pratique, seuls des événements cosmiques mettant en jeu des masses énormes et des vitesses très grandes (formation de trous noirs, explosion de supernovae, rotation d'étoiles à neutrons, mouvement orbital d'étoiles doubles ou multiples, etc.) pourraient produire des ondes gravitationnelles détectables depuis la Terre. Les premières tentatives de détection ont eu lieu dans les années 60, à l'initiative du physicien américain Joseph Weber. Les dispositifs utilisés étaient des cylindres métalliques se comportant comme des résonateurs, susceptibles de vibrer s'ils captaient des ondes gravitationnelles ; l'état vibratoire était analysé par une série de capteurs piézoélectriques, qui transformaient en courant la vibration détectée. Weber annonça en 1969 avoir détecté des signaux significatifs provenant de la région centrale de la Galaxie. Toutefois, malgré d'autres expériences effectuées aux Etats-Unis, en Europe, en URSS, au Japon et en Australie, cette observation n'a jamais pu être confirmée. On est parvenu, en revanche, à obtenir une preuve indirecte de l'existence des ondes gravitationnelles, en étudiant les particularités du mouvement orbital d'un pulsar* double découvert en 1974, PSR 1913+16 : les deux composantes de ce pulsar tournent l'une autour de l'autre en 7 h 45 min environ, mais on constate que cette durée diminue de 67 nanosecondes par révolution. Les calculs montrent que la perte d'énergie associée à cette accélération correspond au rayonnement sous forme d'ondes gravitationnelles prévu par la théorie de la relativité générale.

Aujourd'hui, de nouveaux détecteurs, beaucoup plus sensibles, sont en projet ou en construction. Ce sont des interféromètres optiques à deux bras Les projets LIGO* (américain) et VIRGO* (franco-italien) se fondent sur ce principe : le passage d'un train d'ondes gravitationnelles induira une légère modification de la longueur parcourue par la lumière dans chaque bras du dispositif et, par suite, un changement de l'interférence entre les deux faisceaux lumineux. Cette technique est cependant très délicate à mettre en œuvre, car il s'agit de mesurer des variations relatives de longueur de l'ordre de 10^{-21} à 10^{-22} seulement. Pour sa part, l'Agence spatiale européenne envisage, après l'an 2005, une mission, dénommée LISA (*Laser Interferometry Satellites Array,* réseau de satellites d'interférométrie laser), qui comprendrait un réseau de six satellites séparés de plusieurs millions de kilomètres, formant un interféromètre à très grande base, et donc à très haute résolution, susceptible de détecter la présence dans l'espace d'ondes gravitationnelles de basse fréquence.

ondes de densité (théorie des). Théorie qui explique la structure des galaxies spirales par la propagation d'une perturbation gravitationnelle à travers leur disque.

ENCYCL. La structure des galaxies spirales, et tout particulièrement de la nôtre, a longtemps posé aux astrophysiciens une énigme : comment peut-elle subsister au cours du temps malgré la déformation progressive imposée par la rotation ? l'âge de notre galaxie est évalué à quelque 15 milliards d'années. Si les bras spiraux existaient depuis l'origine, ils devraient apparaître enroulés sur une ou deux centaines de tours. Or, pas plus dans notre galaxie que dans d'autres spirales, on n'observe de bras enroulés sur plusieurs tours.

Une amorce de réponse a été proposée par le Suédois B. Lindblad, dès la fin des années 50. Celle-ci a été reprise, puis développée, par C.C. Lin et EH. Shu, aux États-Unis, à partir de 1964. Ces chercheurs ont montré que les bras spiraux ne sont pas des chaînes de matière, mais seulement des phénomènes ondulatoires : des ondes de densité. Une analogie simple peut nous aider à comprendre ce phénomène. Imaginons, sur une route, une file de voitures gênées par un obstacle, par exemple un poids lourd. Au voisinage de cet obstacle, le flux de voitures ralentit, puis reprend sa vitesse moyenne : autrement dit, la densité de voitures s'accroît. En cette zone, on observe toujours une accumulation de voitures, mais, au cours du temps, ce sont des voitures différentes qui subissent un ralentissement. De même, le gaz en rotation autour du centre galactique rencontre périodiquement des régions où la densité du milieu interstellaire est plus éle-

vée. Ces régions sont engendrées par des ondes de densité qui se déplacent dans le disque de la Galaxie comme des ondes sonores dans l'air. Mais, dans ce cas, un obstacle n'est plus nécessaire pour créer et entretenir l'accumulation de matière : les ondes de densité sont d'origine gravitationnelle. Elles représentent la réponse de la matière galactique à une perturbation gravitationnelle. Celle-ci peut avoir pour origine l'interaction avec une galaxie voisine ou bien la présence d'une barre d'étoiles dans le noyau de la galaxie considérée, ou être la résultante des deux effets conjugués. Le gaz galactique se trouve comprimé périodiquement au passage de l'onde de densité (qui tourne, elle, comme un corps solide, à vitesse constante). Les bras spiraux ne sont autres que ces zones de compression. L'augmentation de pression peut détruire le fragile équilibre des vastes nuages de matière interstellaire. Ceux-ci commencent alors à s'effondrer sur eux-mêmes. Le processus ensuite s'accélère et conduit à la formation en chaîne de nouvelles étoiles. Ainsi s'expliquerait pourquoi les jeunes étoiles se concentrent dans les bras spiraux des galaxies.

O'Neill (Gérard), physicien américain (New York 1927 - Redwood City, Californie, 1992).
Professeur à l'université de Princeton, il s'est fait connaître par ses travaux portant sur des concepts avancés en technologie spatiale. Ardent propagandiste de la colonisation de l'espace, il a imaginé que celle-ci pourrait s'effectuer à l'aide de vastes habitats spatiaux *(planètes creuses ou îles de l'espace)* tournant sur eux-mêmes pour bénéficier d'une pesanteur artificielle, et il a fondé en 1977 le Space Studies Institute pour l'étude approfondie de ce concept. Il a aussi conçu et breveté un système de radiolocalisation par satellite (RDSS : Radio Détermination Satellite Service) pour l'exploitation duquel il fonda en 1983 la société Geostar Corporation (mise en liquidation en 1991). En 1985, il fut nommé membre de la Commission nationale de l'espace, créée par le président Reagan en vue d'émettre des recommandations pour le programme spatial à très long terme des États-Unis. Il a exposé ses vues sur la colonisation de l'espace dans plusieurs ouvrages, dont le plus célèbre est *Frontier,* publié en 1976.

ONERA (sigle de Office National d'Études et de Recherches Aéronautiques, puis - à partir de 1963 - Aérospatiales). Établissement public scientifique et technique, à caractère industriel et commercial, créé en 1946.

ENCYCL. Doté d'installations et de moyens d'essais importants (souffleries, calculateurs...), il mène des recherches pluridisciplinaires (aérodynamique, propulsion, matériaux, résistance des structures, physique générale, etc.) concernant les projets d'avions, d'hélicoptères, de missiles, de lanceurs et de véhicules spatiaux. Ses quelque 2 000 agents sont répartis entre la région parisienne (Châtillon, Chalais-Meudon et Palaiseau) et la province (Lille, Modane-Avrieux, Salon-de-Provence, Toulouse et Le Fauga Mauzac). Le 28 avril 1998, l'ONERA et le CNES* ont signé un accord de partenariat afin de renforcer leurs synergies, par exemple en mettant en place des équipes mixtes sur de pôles de compétence communs concernant les satellites et les lanceurs.

Oort (Jan Hendrik), astronome néerlandais (Franeker 1900-Wassenaar 1992).
Ses travaux se rapportent principalement à la Galaxie ; après avoir mis en évidence sa rotation différentielle (1927), il s'est attaché à déterminer sa masse, par l'étude des mouvements des étoiles et de leur répartition dans l'espace (1932) ; il a pu aussi établir sa structure spirale après avoir découvert,, en 1951, indépendamment d'équipes de chercheurs américains et australiens, l'émission de l'hydrogène neutre à 21 cm de longueur d'onde prédite en 1944 par Van de Hulst. Il a développé, en 1950, la théorie, aujourd'hui généralement admise, selon laquelle il existerait, à des distances du Soleil comprises entre 40 000 et 100 000 unités astronomiques, une vaste concentration de comètes (nuage de Oort). Directeur de l'observatoire de Leyde de 1945 à 1970, il y a constitué une équipe de chercheurs prestigieuse, notamment en radioastronomie.

opérateur n.m. Dans le domaine spatial, société investie d'une responsabilité à caractère opérationnel. Exemples : Arianespace (opérateur de transport spatial), Eutelsat et France Télécom (opérateurs de satellites).

Oph. Abréviation de *Ophiuchus,* désignant la constellation d'Ophiucus (ou du Serpentaire).

Ophiuchus (-i). Nom latin de la constellation d'Ophiucus (abrév. *Oph).*

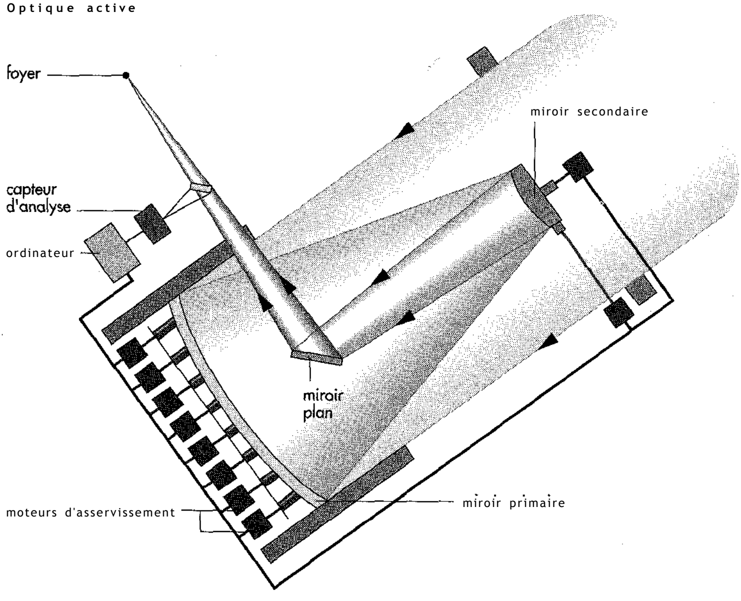
Ophiucus (en latin *Ophiuchus, -t).* Constellation équatoriale enchevêtrée avec celle du Serpent et parfois désignée sous le nom de Serpentaire.
ENCYCL. Son étoile principale est *Rasalhague**. L'étoile 5 *Oph* est au cœur d'un vaste complexe de nuages moléculaires*.

Oppolzer (Theodor Von), astronome autrichien (Prague 1841-Vienne 1886).
Ses travaux portent sur la mécanique céleste, en particulier sur la détermination des orbites planétaires et cométaires. On lui doit le *Canon der Finsternïsse* (1887), célèbre catalogue rassemblant les éléments de 13 200 éclipses de Soleil et de Lune de 1207 av. J.-C. à 2161 apr. J.-C.

opposition ni. Configuration présentée par deux astres dont l'écart angulaire sur la sphère céleste vaut 180°.
ENCYCL. Par leur mouvement apparent dans un plan qui est voisin de l'écliptique, les planètes supérieures comme Mars, Jupiter, Saturne, etc., se trouvent périodiquement en opposition avec le Soleil. En revanche, les planètes inférieures, Mercure et Vénus, dont les orbites sont intérieures à celle de la Terre, ne peuvent jamais se trouver en opposition avec lui. L'opposition de la Lune et du Soleil correspond à la période de la pleine lune ; c'est à ce moment qu'il peut y avoir éclipse de Lune.

optique active. Technique qui permet d'améliorer les performances d'un télescope en optimisant en permanence, à l'aide de dispositifs pilotés par ordinateur, le profil de la surface réfléchissante du miroir primaire et l'agencement du miroir secondaire pendant, ŀ utilisation de l'instrument.
ENCYCL. Le miroir primaire repose sur un ensemble de vérins motorisés (*voir* figure).

Optique active

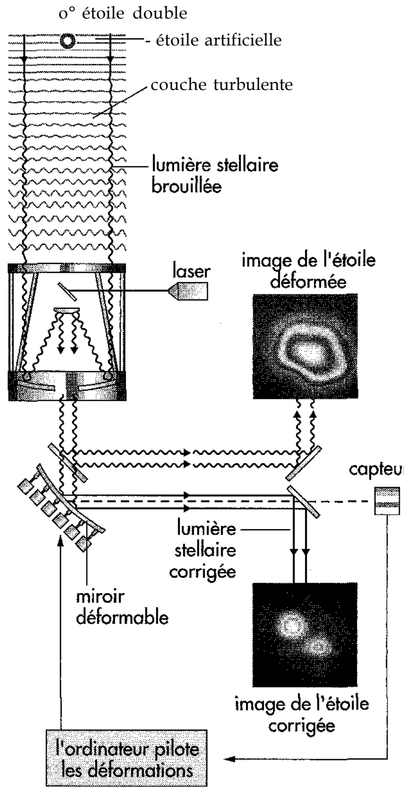


Ceux-ci, par un jeu de contraintes locales, optimisent automatiquement le profil de sa surface réfléchissante à partir des signaux de correction que leur envoie un ordinateur central relié à un dispositif qui analyse à chaque instant la qualité des images d'une étoile de référence et compare ses caractéristiques à celles que présenterait une image idéale. On obtient ainsi les meilleures images que l'on puisse attendre, compte tenu de la qualité de l'optique du télescope et de la turbulence* atmosphérique.
Cette technique permet l'avènement d'une nouvelle génération de grands télescopes, dotés d'un miroir primaire plus mince et plus léger. Le premier télescope à avoir été équipé d'un système d'optique active est le *New* Technology Telescope,* mis en service au Chili en 1969.

optique adaptative. Technique qui permet d'améliorer les performances d'un télescope en corrigeant, lors de son utilisation, les effets de la turbulence atmosphérique.
ENCYCL. L'optique adaptative compense les déformations, par la turbulence atmosphérique, du front des ondes émises par les étoiles. Un système optique concentre d'abord la lumière entrant dans le télescope en un mince faisceau (*voir* figure) qui est ensuite réfléchi par un miroir déformable situé à proximité du foyer du télescope et par un autre miroir qui corrige les mouvements de l'image.

Le faisceau est scindé de façon qu'un détecteur de front d'ondes mesure la déformation, à chaque instant, des divers points du front d'ondes et commande les déformations du miroir déformable par un jeu de vérins piézo-électriques. Le faisceau compensé est finalement focalisé dans une caméra qui enregistre l'image corrigée. Le système est calibré en analysant la lumière émise par des étoiles brillantes voisines de la source étudiée. En l'absence de telles étoiles, on utilise des faisceaux laser focalisés dans l'atmosphère ; la partie de ciel qu'ils éclairent sert d'étoile artificielle de référence.

Optique adaptative



optique adj. Se dit de la partie du spectre électromagnétique qui comprend les radiations visibles, le proche infrarouge et le très proche ultraviolet, ainsi que des instruments opérant dans ce domaine spectral.

orage magnétique. Brutale perturbation transitoire du champ magnétique terrestre, affectant la totalité du globe. Les orages magnétiques sont déclenchés, notamment, par les éruptions* solaires.

Orbcomm. Réseau américain de satellites destinés à la transmission et la réception de messages sur l'ensemble de la planète. Dès 1999, sa constellation - 36 satellites de 45 kg - devrait assurer un service commercial.

Orbita. Réseau national de télécommunications par satellites mis en fonctionnement en URSS à partir de 1967.

Inauguré avec les satellites à défilement Molnia, il bénéficie depuis 1975 des satellites géostationnaires Radouga (appelés aussi Statsionar ou Ekran). Les stations terriennes sont équipées d'antennes paraboliques orientables de 12 à 15 m de diamètre munies d'un dispositif automatique de pointage et de poursuite.

orbital, e adj. Relatif à une orbite.

Orbital Express. Fusée américaine à poudre destinée au lancement de petits satellites.
ENCYCL. Développée par MicroSpace Inc., elle comprend quatre étages qui reprennent des propulseurs existants. Haute de 21 m et pesant 16 t au décollage, elle peut placer en orbite basse une charge utile pesant jusqu'à 180 kg. Le marché plus particulièrement visé est celui des microsatellites scientifiques, technologiques ou de télécommunications, civils ou militaires. Son premier vol a eu lieu en 1993.

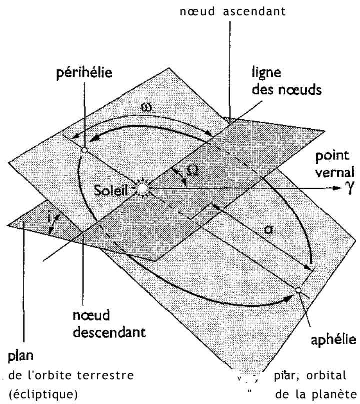
orbite d'attente. Orbite sur laquelle est placé temporairement un véhicule spatial.

orbite de rebut. Orbite sur laquelle est transféré un satellite (particulièrement, un satellite géostationnaire) en fin de vie active.

orbite de transfert. Orbite sur laquelle est placé temporairement un véhicule spatial entre une orbite initiale, ou la trajectoire de lancement, et une orbite visée.

orbite n.f. Trajectoire décrite par un corps céleste ou un véhicule spatial autour d'un astre, sous l'effet de la gravitation.
ENCYCL. Dans le cas où le mouvement s'effectue sous la seule action de la gravitation d'un astre de masse prépondérante, l'orbite, dite képlérienne, est une ellipse, une parabole ou une hyperbole. Le mouvement est parfaitement déterminé dans un système de coordonnées rectangulaires par un ensemble de six paramètres (éléments* orbitaux) qui définissent le plan de l'orbite, l'orbite elle-même et la position instantanée de l'astre sur cette orbite.

Orbite

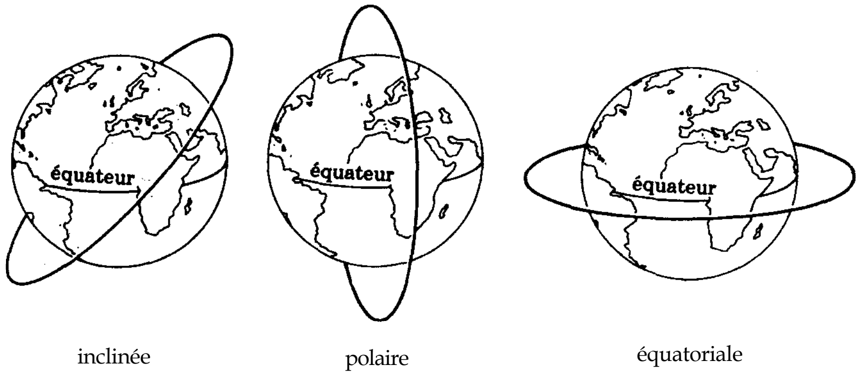


*Éléments de l'**orbite** d'une planète autour du Soleil.*

Ainsi, pour les planètes et les comètes du système solaire, le plan de référence adopté est celui de l'écliptique, l'origine des coordonnées, le Soleil, et l'axe des abscisses, la direction du point vernal *y (voir* figure). Le plan de l'orbite coupe le plan de référence suivant une droite appelée ligne des nœuds. Les nœuds sont les points d'intersection de l'orbite avec cette droite, le nœud ascendant étant celui pour lequel l'astre s'élève au-dessus du plan de référence. La position du plan orbital est définie par la longitude du nœud ascendant fi et l'inclinaison *i* du plan de l'orbite. La forme et les dimensions de l'orbite sont déterminées par son excentricité t, son demi-grand axe a et la position du périhélie, donnée par l'angle co entre ce point et la direction du point vemal (angle compté positivement dans le sens du mouvement et appelé argument du périhélie). Enfin, la position de la planète (ou de la comète) est déterminée par l'instant de son passage au périhélie, d'où se déduit sa période de révolution sidérale T.

En fait, à l'exception du cas des étoiles doubles, il y a toujours plus de deux corps en présence et le mouvement est soumis à des perturbations*, de sorte que l'orbite n'est ni plane, ni fermée, ni képlérienne, même si elle ne s'écarte jamais beaucoup d'une orbite moyenne bien définie. Tous ses éléments, et surtout ceux qui la situent dans l'espace,

Différents types d'orbites d'un satellite de la Terre.



varient avec le temps selon des termes séculaires* ou périodiques.
Un satellite artificiel subit diverses perturbations que l'on peut classer en deux catégories :
- celles qui sont d'origine gravitationnelle (attraction de la Lune et du Soleil, phénomènes de marées - terrestres, océaniques, atmosphériques -, non-sphéricité du potentiel terrestre, etc.) ;
- celles qui sont d'origine non gravitationnelle (frottement atmosphérique, pression de radiation solaire, etc.).

orbiter (mot américain) n.m. **orbiteur**

orbiter v.i. Décrire une orbite.

orbiteur n.m. Partie d'un engin spatial restant en orbite autour d'un astre pour accomplir sa mission.

orbitographie ni. Détermination des éléments orbitaux d'un satellite artificiel.

Ori. Abréviation de *Orion,* désignant la constellation d'Orion.

orientation n.f. Synonyme de attitude.

Orion (en latin *Orion, -is).* Constellation équatoriale, l'une des plus spectaculaires du ciel.

ENCYCL. À l'œil nu, elle se caractérise par un groupe de sept étoiles brillantes : quatre (Bételgeuse*, Bellatrix*, Rigel*, Saïph*) dessinent un grand quadrilatère (la silhouette du chasseur) ; les trois autres, alignées obliquement au milieu de ce quadrilatère, forment le *Baudrier* ou la *Ceinture* d'Orion (elles sont aussi connues sous d'autres appellations : le *Râteau,* les *Trois Rois,* les *Trois Mages).* Au-dessous de l'étoile centrale du Baudrier, on distingue un filet lumineux formé de trois étoiles de magnitude 4, très rapprochées, disposées verticalement : c'est *i'Épée* d'Orion.
Au télescope, l'étoile constituant le milieu de l'Épée, 9 *Orionis,* se révèle multiple : elle forme un système sextuple, dont les quatre composantes principales dessinent ce qu'on appelle le *Trapèze* d'Orion. Autour de ce système s'étend la grande nébuleuse* M 42, découverte en 1610 par Peiresc, et l'une des rares qu'on puisse apercevoir à l'œil nu : ce vaste nuage d'hydrogène, situé à 1 600 années de lumière, éclairé par les étoiles chaudes qu'il renferme et ionisé par leur rayonnement ultraviolet, constitue un prototype des nébuleuses à émission. C'est une région très riche en jeunes étoiles.
Elle ne représente elle-même que la partie centrale d'un vaste complexe nébuleux, la *Boucle de Barnard,* qui couvre la constellation presque tout entière. Près de l'étoile Ç *Orionis,* la plus à l'est de celles du Baudrier, se trouve une autre curiosité du ciel : la nébu-

leuse obscure dite « Tête* de Chevai » . En**fin, à l**'ouest de Bellatrix, une série d'étoiles **peu** brillantes, disposées en ligne courbe, **dessinent** le *Bouclier* d'Orion.
Proche de l'équateur céleste, la constellation **d'Orion** est observable depuis n'importe **quel** point de la surface terrestre, les pôles exceptés.

Orionides. Essaim de météorites, et météores associés observables autour du 20 octobre, dont le radiant se situe dans la constellation d'Orion. Cet essaim a pour origine la comète de Halley*.

OSCAR (sigle de *Orbiting Satellite Cartying Amateur Radio,* satellite transportant un équipement pour radioamateurs). Satellites destinés aux radioamateurs du monde entier et construits par leurs clubs.
Depuis OSCAR 1, lancé le 12 décembre 1961, une trentaine de satellites ont été mis sur orbite.

oscillation solaire. Mouvement périodique vertical observé dans l'atmosphère du Soleil.
ENCYCL. L'atmosphère du Soleil est le siège de nombreux mouvements périodiques liés à son activité. Des ondes de différentes natures se manifestent dans toutes les directions : ondes de gravité, ondes acoustiques, ondes d'Alfvén, ondes évanescentes, ondes de choc, etc. D'une manière générale, la période diminue avec l'altitude. Les oscillations les mieux connues sont des oscillations radiales, globales et de longue durée. Une oscillation photosphérique dont la période est de 300 s a été découverte et confirmée dans les années 70. La variation du diamètre solaire apparent qui en découle est de l'ordre de la milliseconde d'arc. Depuis lors, d'autres oscillations ont été trouvées dont les périodes sont de 160, 66 et 45 min respectivement. La chromosphère est le siège d'oscillations de plus courte période : 240 s, 180 s, etc. Celles-ci sont interprétées comme des phénomènes de résonance aux instabilités photosphériques. La recherche et l'étude des oscillations solaires globales débouchent sur des modèles théoriques du cycle d'activité et de la structure interne du Soleil.

OSO (sigle de *Orbiting Solar Observatory).* Nom donné à des satellites américains destinés à l'observation du Soleil dans une large gamme de longueurs d'onde (rayonnements y, X et ultraviolet) ainsi qu'à la surveillance de l'activité solaire. Huit ont été lancés avec succès de 1962 à 1975.

OTAN -» NATO

OTS (sigle de *Orbital Test Satellite,* satellite d'essais en orbite). Satellites géostationnaires de télécommunications de l'Agence spatiale européenne.
ENCYCL. Deux modèles de vol ont été lancés : OTS 1, détruit le 15 septembre 1977 par l'explosion de son lanceur américain Delta, et OTS 2, mis à poste le 11 mai 1978 à 10° de longitude est. Utilisé effectivement pendant cinq ou six ans, il a préparé la venue des satellites opérationnels ECS.

Ourse (Grande) [en latin *Ursa major,* au génitif *Ursae majoris*]. Constellation boréale.
ENCYCL. Dès l'Antiquité, on a remarqué la figure caractéristique dessinée par ses sept étoiles les plus brillantes, qui évoque la silhouette d'un chariot avec son timon ou celle d'une casserole avec son manche. Les Chinois y voyaient le « char du souverain » , les Égyptiens un hippopotame, les Gaulois un sanglier, les Romains un attelage de sept bœufs, les Arabes un cercueil suivi par trois pleureuses ; pour les Anglo-Saxons, elle représente une louche, etc. Son nom actuel vient des Grecs, qui l'identifiaient à la princesse Callisto, après sa transformation en ourse par Héra, épouse jalouse de Zeus, ou par Zeus lui-même. Mais elle est aussi très populaire sous l'appellation de *Grand Chariot.* Les étoiles a, p, y, 5 limitent le contour de la caisse du chariot; les étoiles e, Ç, r) tracent le timon du véhicule. Ces étoiles sont désignées par leurs noms arabes : *a,* Dubhe ; P, Mérak ; y, Phecda ; 5, Mégrez ; e, Alioth ;   Mizar ; r|, Alkaïd. Parmi les nombreuses curiosités observables avec une lunette d'amateur dans cette constellation figurent l'étoile variable *RUMa,* de type Mira* ; une vaste nébuleuse planétaire, la nébuleuse du Hibou, M 97, près de Mérak ; les galaxies spirales M 81 et M 101 et la galaxie irrégulière M 82. Aux latitudes de la

France, la Grande Ourse reste toujours au-dessus de l'horizon, quelle que soit l'époque de l'année : c'est une constellation circumpolaire.

Ourse (Petite) [en latin *Ursa minor,* au génitif *Ursae minoris*], constellation boréale dont l'étoile principale, a, est actuellement très voisine du pôle céleste Nord et appelée pour cette raison *Polaire**.
ENCYCL. Les étoiles les plus brillantes de cette constellation dessinent une figure similaire à celle de la Grande Ourse, mais plus petite et orientée différemment. On peut aisément la Polaire (extrémité de la queue de l'ourse) à partir de la Grande Ourse en prolongeant la ligne formée par les roues arrière du Grand Chariot d'environ cinq fois sa longueur.

ouvert, e adj. *Univers ouvert :* modèle d'univers évolutif en expansion perpétuelle.

ouverture n.f. Surface d'un miroir de télescope, d'un objectif de lunette, exposée aux rayons lumineux. L'ouverture des instruments d'optique détermine, d'une part, leur luminosité et, d'autre part, leur pouvoir séparateur. *Diamètre d'ouverture* : diamètre de cette surface. *Ouverture relative :* rapport du diamètre d'ouverture à la distance focale.

OVNI (sigle de Objet Volant Non Identifié) n.m. Objet ou phénomène aérien ou spatial dont la nature n'est pas connue ou reconnue par les personnes qui l'observent, SYN : *phénomène aérospatial non identifié, soucoupe volante, UFO* (sigle de l'expression anglaise *Unidentified Flying Object)*
ENCYCL. On admet généralement que l'histoire des OVNI a débuté le 24 juin 1947, quand un industriel américain, Kenneth Arnold, affirma avoir observé, pendant qu'il survolait les montagnes Rocheuses avec son avion personnel, 9 objets lumineux de forme discoïdale, dont le mouvement ondulant évoquait celui de soucoupes ricochant à la surface d'une eau calme. Depuis lors, des milliers de témoignages ont été répertoriés dans le monde, les observations ayant été particulièrement nombreuses durant certaines années comme 1947, 1950, 1954, 1957, 1959, 1964, 1974, etc. Une fois éliminé tout le sensationnel attaché aux « rencontres rapprochées » , une fois écartées les nombreuses observations qui se réfèrent, en fait, à des objets connus (Vénus, Jupiter, Mars, la Lune, étoiles brillantes, météorites, ballons-sondes éclairés par le Soleil, satellites artificiels rentrant dans l'atmosphère, etc.) et mal interprétés par manque de connaissance du ciel ou du fait de conditions d'observation insolites, il reste environ 20 % d'observations inexpliquées. En France, un organisme officiel, le Groupement d'étude des phénomènes aérospatiaux non identifiés (GEPAN), dépendant du Centre national d'études spatiales, à Toulouse, a été créé en 1977 pour centraliser, analyser et interpréter les données d'observation disponibles. Le Service d'étude des phénomènes de rentrée atmosphérique (SEPRA), qui lui a succédé en 1988, est chargé de l'expertise de tous les cas qui lui sont soumis par l'Administration (gendarmerie, armée de l'air, etc.).

Oweris Valley (observatoire radio d'). Observatoire de radioastronomie du California Institute of Technology, situé à 400 km au nord de Los Angeles, à 1 200 m d'altitude.
ENCYCL. Il comprend un radio-interféromètre à deux antennes paraboliques de 27 m de diamètre, installé en 1960 et rééquipé depuis principalement pour des observations du Soleil ; un radiotélescope parabolique de 40 m de diamètre, construit en 1965, utilisé pour de l'interférométrie à très longue base **(-• VLBI)** ; et un radio-interféromètre à trois antennes de 10,4 m de diamètre, employé pour des observations aux longueurs d'onde millimétriques.

oxygène n.m. Corps simple utilisé sous forme liquide en tant que comburant dans divers moteurs-fusées.
ENCYCL. L'oxygène peut être associé soit à l'hydrogène* (pour constituer le propergol le plus performant, à l'impulsion spécifique la plus élevée), soit au kérosène, pour alimenter le premier étage de certains lanceurs actuels (Zemiorka, Atias, Delta...).
Température de liquéfaction (sous pression normale) : - 183 °C ; densité : 1,14. Symbole chimique : O.

p-q

P. Symbole dont on fait précéder le nom des comètes périodiques de période inférieure à 200 ans.

P 230. Nom donné aux propulseurs auxiliaires à poudre du lanceur européen Ariane 5, qui devaient initialement contenir chacun 230 t de poudre (mais qui en renferment finalement 238 t).

P Cygni (étoile). Étoile variable irrégulière du Cygne, prototype d'une catégorie d'étoiles dont les raies spectrales présentent un profil caractéristique que l'on interprète par l'existence, autour de l'étoile, d'une enveloppe gazeuse en expansion.
ENCYCL. L'attention s'est portée sur cette étoile en août 1600, lorsque le Danois W. Braeuw remarqua qu'elle était brutalement devenue de troisième grandeur. Ensuite, son éclat resta inchangé pendant six ans, puis déclina au point que l'astre devint invisible à l'œil nu. Après un nouveau sursaut de 1655 à 1659, suivi d'un nouveau déclin, l'éclat a fluctué autour de la magnitude 6 et, depuis 1715, semble s'être stabilisé autour de la magnitude 5.

P Cygni est considérée aujourd'hui comme une nova* récurrente. On estime que sa masse représente 50 fois celle du Soleil, que son diamètre vaut 76 fois celui du Soleil et que c'est une étoile 300 000 fois plus lumineuse que le Soleil. Sa distance est évaluée à 7 000 années de lumière.
Son spectre présente des raies d'émission (brillantes) bordées, du côté du violet, par une raie d'absorption (sombre) plus étroite. Ce profil caractéristique (profil/' *Cygni)* indique que l'étoile est entourée d'une enveloppe gazeuse très étendue et en rapide expansion: la lumière émise par l'étoile et absorbée par la matière de l'enveloppe est à l'origine des raies d'absorption ; celle émise par les portions de l'enveloppe situées de part et d'autre de l'étoile pour les observateurs terrestres est à l'origine des raies d'émission. L'expansion de l'enveloppe se manifeste par le décalage, par effet Doppler-Fizeau, entre les raies d'émission et les raies d'absorption qui leur sont associées. Des études fines ont montré que l'étoile est entourée, en fait, de trois enveloppes distinctes, dont la plus extérieure est animée de pulsations d'une période de 114 jours.
Une signature spectrale analogue se retrouve notamment dans les étoiles supergéantes de type spectral O, B ou A qui éjectent brutalement de grandes quantités de matière.

Pageos (abréviation de *PAssive Geodetic Earth Orbiting Satellite,* satellite géodésique passif en orbite autour de la Terre). Gros ballon américain de Mylar* aluminisé utilisé comme satellite géodésique pour des mesures de localisation par triangulation afin de préciser les dimensions de la Terre.
ENCYCL. Lancé à plus de 4 000 km d'altitude par une fusée de la NASA, le 23 juin 1966, il se gonfla automatiquement sur orbite. Son important diamètre (40 m) et ses caractéristiques orbitales (altitude élevée, inclinaison de 87°) le rendaient observable pendant presque une heure d'affilée. L'utilisation cessa en 1975 lorsqu'il commença à se dépecer.

PAH n.m.inv. (sigle de l'angl. *Polycyclic Aromatic Hydrocarbon,* hydrocarbure aromatique

polycyclique). Type de macromolécule susceptible de jouer un rôle important dans la physique et la chimie du milieu interstellaire. Les PAH pourraient être les constituants des petits grains de matière interstellaire à l'origine de certaines particularités du rayonnement infrarouge émis par cette matière.

PAL (sigle de Propulseur d'Appoint à Liquides). Élément propulsif auxiliaire muni d'un moteur Viking, utilisé en deux ou quatre exemplaires sur certains lanceurs Ariane 4 pour en accroître la poussée initiale.
ENCYCL. Accrochés au premier étage du lanceur, les PAL sont éjectés après utilisation. Poussée : 668 kN. Masse : 43,5 t dont 39 d'ergols. Durée de fonctionnement : 140 s.

Palapa. Satellites géostationnaires de télécommunications intérieures de l'Indonésie.
ENCYCL. Le premier a été lancé le 8 juillet 1976 par une fusée américaine et mis à poste par 83° de longitude est, au-dessus de l'océan Indien. Palapa B2, lancé le 3 février 1984 par l'orbiteur Challenger, en même temps que Westar 6, ne put, comme ce dernier, atteindre l'orbite géostationnaire, par suite d'une défaillance de son moteur. Les deux satellites furent récupérés en orbite basse le 12 novembre 1984 et ramenés au sol à bord de l'orbiteur *Discovery.* Après sa remise en état, Palapa B2 a été relancé par une fusée américaine le 13 avril 1990.

Ultérieurement, trois autres satellites Palapa ont été lancés (un en 1992, deux en 1996).

Pallas. Astéroïde 2, découvert le 28 mars 1802 par l'Allemand H.W. Olbers. Demi-grand axe de son orbite : 414 millions de km. Période de révolution sidérale : 1 686 j. Période de rotation : 7,81 h. Il a approximativement la forme d'un ellipsoïde de révolution triaxial de 558 X 536 X 532 km.

Palmachim. Base de lancement israélienne située au sud de Tel-Aviv. Pour ne pas survoler les pays arabes, à l'est, les lancements sont effectués vers l'ouest.

Palomar (observatoire du mont). Observatoire des États-Unis, dans le sud de la Californie, à 80 km au nord-est de San Diego sur un haut plateau (ait. 1 680 m) du mont Palomar.
ENCYCL. Prospecté dès 1928 par G.E. Haie, le site a été choisi en 1934. Son principal instrument est un télescope de 5,08 m d'ouverture, mis en service en 1948 : le miroir primaire, en Pyrex, pèse 20 t et sa mise au point (coulée, taille, polissage) a duré 11 ans. Il abrite également un télescope de Schmidt de 1,22 m d'ouverture, grâce auquel a été réalisé un atlas photographique du ciel jusqu'à -30° de déclinaison *(Palomar Sky SUrvey) ; un* télescope de 1,50 m spécialement conçu pour la photométrie photoélectrique et un télescope de Schmidt de 45 cm utilisé pour la recherche des supernovae.

Pamplemousse. Surnom donné au satellite américain Vanguard l, en raison de sa forme sphérique et de sa petitesse.

Pan. Satellite de Saturne (n° XVIII), découvert en 1990 par l'Américain M. Showalter sur des photographies prises en 1981 par la sonde américaine Voyager 2. Demi-grand axe de son orbite : 133 580 km. Période de révolution sidérale : 13 h 50 min. Diamètre : -20 km.

PanAmSat. Système de télécommunications de la Pan American Satellite Corporation couvrant l'Amérique et l'Europe. 7 satellites lancés de 1988 à 1998,

panneau solaire. Association, sur un panneau, d'un grand nombre de cellules solaires, constituant un générateur* solaire.

panspermie n.f. (du grec *pansyermia,* mélange de semences). Théorie selon laquelle la vie serait apparue sur la Terre à la suite d'un ensemencement de la planète par des germes venus de l'espace.
ENCYCL. Cette théorie a été proposée dans la seconde moitié du XIXᵉ s. par le chimiste suédois Arrhenius. Une version moderne est défendue par F. Hoyle* et l'Indien Chandra Wickramasinghe. Selon ces auteurs, la Terre aurait été ensemencée par des poussières interstellaires d'un type particulier (bactéries ou spores protégées par des coques de graphite) véhiculées par des noyaux cométaires qui auraient heurté notre planète du-

rant les premiers millions d'années de son existence.

Paon (en latin *Pavo, -onis).* Constellation australe, au nord de l'Octant, introduite par J. Bayer en 1603 dans son *Uranometria.* Son étoile principale, située à la limite du Télescope et de l'Indien, est *Peacock*,* appelée également l'Œil du Paon

PAP (sigle de Propulseur d'Appoint à Poudre). Elément propulsif auxiliaire utilisé en deux ou quatre exemplaires sur certains lanceurs Ariane 4 pour en accroître la poussée initiale.

ENCYCL. Accrochés au premier étage du lanceur, les PAP sont éjectés après utilisation. Poussée : 650 kN. Masse : 12,5 t dont 9,5 t de poudre. Durée de fonctionnement : 30 s environ.

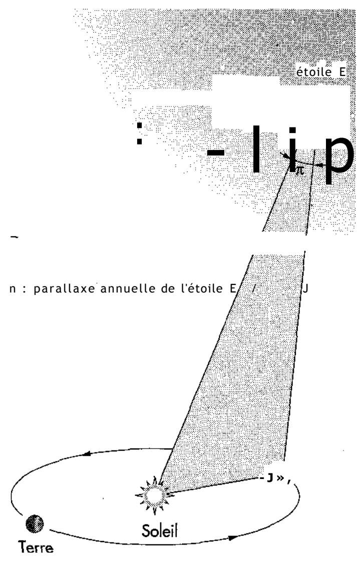
Pâques. Dans la liturgie chrétienne, fête célébrée à date variable chaque année au printemps, en mémoire de la résurrection du Christ.

ENCYCL. Suivant une règle traditionnellement attribuée, mais à tort semble-t-il, au concile de Nicée (325), la fête de Pâques est fixée au dimanche qui suit la pleine lune de l'équinoxe de printemps (2i mars). D'après cette règle, la fête de Pâques doit être célébrée, chaque année, le premier dimanche qui suit le 14e jour de la lunaison tombant, d'après le comput, soit à l'équinoxe de printemps, fixé le 21 mars, soit immédiatement après. Comme le premier jour de cette lunaison se situe entre le 8 mars et le 5 avril, Pâques peut tomber au plus tôt le 22 mars et au plus tard le 25 avril. Toutes les confessions chrétiennes ne célèbrent pas, en général, Pâques à la même date. Les catholiques et les protestants suivent, en effet, le calendrier grégorien, tandis que les orthodoxes suivent le calendrier julien. Le deuxième concile du Vatican a affirmé en 1963 la disponibilité de l'Eglise catholique à réviser le calendrier pascal, mais à la condition d'avoir l'assentiment des autres Eglises. En 1975, le pape Paul VI proposa de célébrer Pâques le dimanche suivant le deuxième samedi d'avril. Une conférence panorthodoxe étudia cette proposition. Ses conclusions furent rendues publiques en septembre 1982 : Pâques serait fixée, après remise à jour des calendriers julien et grégorien, sur la base des données astronomiques, le dimanche après la première pleine lune qui suit l'équinoxe de printemps et sur la base du méridien de Jérusalem. Cependant, la hiérarchie orthodoxe n'a finalement pas donné son aval à ce projet, par crainte qu'il provoque des schismes à l'intérieur des Églises.

parallaxe n.f. Angle sous lequel on verrait, d'un astre donné, une longueur conventionnellement choisie située à la distance de la Terre.

ENCYCL. La connaissance de la parallaxe d'un astre est équivalente à la connaissance de sa distance. Si l'astre considéré appartient au système solaire, on prend comme longueur de référence (appelée aussi *base)* le rayon équatorial de la Terre et la parallaxe ainsi définie porte le nom de *parallaxe diurne.* La parallaxe du Soleil, par exemple, vaut 8,8", ce qui revient à dire que, du Soleil, on voit le rayon de l'équateur terrestre sous un angle de 8,8" (et le globe terrestre sous un angle double). Si l'astre considéré est extérieur au système solaire, une étoile par exemple, on prend comme référence le demi-grand axe

Parallaxe annuelle d'une étoile



de l'orbite terrestre et la parallaxe ainsi définie, liée au mouvement orbital annuel de la Terre, porte le nom de *parallaxe annuelle (voir* figure). Par suite du mouvement orbital de la Terre, les étoiles les plus proches semblent décrire en une année une petite ellipse sur le fond du ciel. Le demi-grand axe de cette ellipse est vu de la Terre sous un angle *K* qui n'est autre que la parallaxe annuelle de l'étoile considérée. On détermine cette parallaxe par une méthode trigonométrique à partir de clichés qui permettent de suivre les variations de la direction de l'étoile au cours de l'année.

Les distances des étoiles étant considérablement plus grandes que le demi-grand axe de l'orbite terrestre, les parallaxes stellaires sont toujours petites : par exemple, celle de l'étoile la plus proche, *Proxima**, n'est que de 0,76". En pratique, depuis le sol terrestre, la précision des mesures, ne permet pas de déterminer des parallaxes inférieures à 0,01", ce qui correspond à des étoiles situées à moins de 100 parsecs*. Pour des étoiles plus lointaines, il faut recourir à des méthodes fondées sur des mesures statistiques, spectroscopiques ou photométriques. La méthode trigonométrique est néanmoins la seule qui permette de connaître la distance d'une étoile sans faire aucune hypothèse sur son état physique : c'est la méthode de base qui sert à calibrer toutes les autres Aussi la mesure par le satellite Hipparcos* de la parallaxe de quelque 120 000 étoiles avec une précision de l'ordre de 0,002" représente-t-elle un progrès considérable.

parallèle n.m. 1. Cercle parallèle à un grand cercle fondamental de coordonnées, sur la sphère céleste. On définit, selon le cas, des parallèles de latitude, de hauteur, de déclinaison, etc. 2. Cercle parallèle à l'équateur, sur le Soleil, la Lune ou les planètes.

paramètres orbitaux. Synonyme de éléments* orbitaux.

parsec n.m. (de *par* [allaxe] et *sec* [onde]). Unité de distance (symbole : pc) utilisée en astronomie et correspondant à la distance d'un astre dont la parallaxe annuelle serait de 1".

ENCYCL. Le parsec est l'équivalent de 3,26 années de lumière, 206 265 unités* astronomiques ou 30 900 milliards de km environ. La distance D d'une étoile, exprimée en parsecs, et donnée d'une manière approchée par la relation D=1/ n où n est la parallaxe annuelle de l'étoile exprimée en secondes de degré.

Parsons (William), 3e comte de Rosse, astronome irlandais (York 1800-Monkstown, comté de Cork, 1867).

Passionné par l'astronomie, il se consacra à la réalisation de télescopes de très grande ouverture, perfectionnant les techniques de confection et de polissage des miroirs en bronze. Il construisit, de 1842 à 1845, le plus grand télescope du XIXe s. : le « Léviathan de Parsonstown ». Celui-ci comportait un miroir de 1,83 m de diamètre, pesant près de 4 t, monté au fond d'un tube de 13 m de long et mobile seulement dans la direction du méridien. À l'aide de cet instrument, W. Parsons se livra à une étude approfondie des formations célestes répertoriées alors comme des nébuleuses ; il mit ainsi en évidence la structure spirale de certaines d'entre elles, qui ont été plus tard reconnues comme des galaxies.

pas de tir. Synonyme de aire de lancement.

Paschen (série ou **raies de)** [du nom de F. Paschen, physicien allemand (1865-1947)]. Série de raies caractéristiques du spectre de l'hydrogène neutre, dans le proche infrarouge, émises lorsque, l'électron tombe sur le troisième niveau d'énergie, et absorbées lors des transitions inverses.

ENCYCL. Les raies de Paschen sont désignées par la lettre P suivie d'une lettre grecque, a s'appliquant à la raie de longueur d'onde la plus élevée, (3 à la suivante, etc. Les longueurs d'onde correspondant aux deux principales raies sont : Pa : 1 875,1 nm (18 751 Å) Pp : 1 281,8 nm (12 818 Å)

La longueur d'onde limite de la série est 820,4 nm (8 204 Å). Ces raies apparaissent en absorption dans le spectre des étoiles de type A, avec une intensité moindre que celle des raies de la série de Balmer.

Pasiphaé. Satellite de Jupiter (n° VIII), découvert en 1908 par le Britannique P. Melotte. Demi-grand axe de son orbite : 23 500 000 km. Période de révolution sidérale -, 735 j. Diamètre : ~ 40 km.
ENCYCL. Son orbite est inclinée de 153° sur celle de Jupiter, sa révolution s'effectuant dans le sens rétrograde. Il s'agit vraisemblablement d'un astéroïde capturé par l'attraction de Jupiter, tout comme les satellites Sinopé, Carme et Ananké, qui décrivent des orbites voisines.

passage n.m. 1. Traversée, par un astre, d'un plan ou d'une ligne remarquables sur la sphère céleste. 2. Phénomène au cours duquel, pour un observateur terrestre, une planète passe devant le Soleil, ou un satellite devant le globe de sa planète. *Instrument des passages :* synonyme de lunette méridienne* ou de cercle méridien*. *Passage d'un astre au méridien :* instant où cet astre se présente, par suite de la rotation de la Terre, exactement dans le plan méridien d'un lieu.
ENCYCL. Les planètes inférieures, Mercure et Vénus, passant entre la Terre et le Soleil, peuvent s'interposer devant celui-ci, et alors on les voit comme de petits disques noirs, qui, en quelques heures, traversent le disque du Soleil. Les passages de Mercure devant le Soleil ont toujours lieu en mai et en novembre. On en compte, en moyenne, 13 par siècle. La première observation connue de ce phénomène est celle qu'effectua Gassendi, le 7 novembre 1631, d'un passage qui avait été calculé par Kepler. Louis XV en personne suivit le passage du 6 mai 1753 depuis la terrasse du château de Meudon. Depuis lors, la plupart des passages de Mercure ont été observés, ce qui a permis de déterminer avec une bonne précision l'orbite et le diamètre de la planète. Les prochains passages auront lieu le 15 novembre 1999 et le 5 mai 2003.

Beaucoup plus rares, les passages de Vénus surviennent début juin ou début décembre, selon le cycle suivant : 121 ans et demi, 8 ans, 105 ans et demi, 8 ans, etc. C'est, semble-t-il, le Britannique J. Horrocks qui, le premier, en observa un, en 1639. Le dernier passage remonte au 6 décembre 1882 ; les prochains s'observeront le 8 juin 2004 et le 6 juin 2012.

passivation n.f. Opération de vidange des réservoirs du dernier étage d'un lanceur spatial, après satellisation de sa charge utile, destinée à éviter son explosion qui serait génératrice de débris spatiaux.

patera n.f. (mot latin ; pl. *paterne).* Cratère irrégulier et peu profond, à la bordure souvent dentelée, dans la nomenclature internationale du relief des surfaces planétaires.

Pav. Abréviation de *Pavo,* désignant la constellation du Paon.

Pavo (-onis). Nom latin de la constellation du Paon (abrév *Pav).*

pc. Abréviation de parsec.

Peacock (nom anglais signifiant *paon).* Étoile a du Paon. Magnitude apparente visuelle : 1,9. Type spectral : B3. Distance : 300 années de lumière.

Pecker (Jean-Claude), astrophysicien français (Reims 1923).
Ses recherches concernent le Soleil, les atmosphères stellaires, l'évolution galactique et la cosmologie. Il est aussi l'auteur d'ouvrages de vulgarisation de l'astronomie.

Peg. Abréviation de *Pegasus,* désignant la constellation de Pégase.

Peenemiinde. Port d'Allemagne, sur le cordon littoral qui limite l'estuaire de la Peene.
ENCYCL. De 1937 à 1945, ce fut le siège du centre de fabrication et d'essais des engins autopropulsés allemands (VI, V2), dirigé par W. Dornberger. Malgré les bombardements de la RAF, le travail s'y poursuivit jusqu'à l'évacuation en Bavière (1945). Une centaine d'ingénieurs qui y travaillaient (dont W. von Braun) et Dornberger lui-même se rendirent à la 7e armée américaine le 2 mai 1945, tandis que la base fut investie par la 2e armée soviétique le 5 mai.

Pégase (en latin *Pegasus, -î).* Constellation boréale.
ENCYCL. Très étendue, elle est facilement identifiable grâce au grand quadrilatère que

dessinent ses étoiles brillantes a (Markab*), P (Scheat*) et X (Algénib*) avec l'étoile a Andromède (Sirrah*). Connu sous le nom de *Carré de Pégase,* cet astérisme forme, avec les étoiles P et y Andromède et a Persée une sorte de fausse Grande Ourse, beaucoup plus vaste que la vraie et située à l'opposé par rapport à la Polaire.
La constellation renferme l'amas globulaire M 15 (distance 40 000 al), perceptible avec des instruments d'amateur, et de nombreuses galaxies parmi lesquelles, à l'extrême nord, la galaxie spirale NGC 7331.
Certaines observations suggèrent qu'une planète de la masse de Jupiter tourne en 4,7 j autour de l'étoile 51 *Peg,* distante de 40 al.

Pégase (du nom d'une constellation de l'hémisphère Sud). Sixième mission spatiale habitée franco-russe.
ENCYCL. Cette mission a permis de compléter, dans les domaines suivants, les mesures effectuées lors de la mission Cassiopée* de 1996 :
- les sciences de la vie avec l'expérience Physiolab en physiologie cardio-vasculaire et l'expérience Cognilab en neurosciences d'une part, et l'expérience Fertile en biologie du développement animal d'autre part ;
- les sciences physiques avec l'expérience Alice II en physique des fluides.

Un volet technologique de caractérisation des structures en orbite (l'expérimentation Castor) a complété l'ensemble du travail scientifique de l'équipage.
Parti de Baïkonour le 29 janvier 1998, avec le vaisseau Soyouz TM 27, l'équipage - composé des Russes T.A. Moussabaiev et N.M. Boudarine et du spationaute français Léopold Eyharts - a rejoint la station Mir le surlendemain.
A l'exception de l'expérience Castor, réalisée partiellement en raison d'une panne du calculateur, la majorité des objectifs scientifiques et techniques de la mission ont été atteints.
Léopold Eyharts est revenu sur Terre le 19 février 1998.

Pégase (ou **Pegasus).** Satellites américains lancés en 1965 pour étudier les impacts de météorites et de micrométéorites sur les engins spatiaux de manière à prémunir efficacement les vaisseaux Apollo contre ces agressions.
ENCYCL. Construits à partir d'étages supérieurs de fusées Saturn I, les satellites Pégase étaient munis d'ailes repliées en accordéon au lancement et qui se déployaient en orbite, leur conférant alors une envergure de 37 m avec 210 m^2 de détecteurs de météorites. Trois furent mis en orbite. Les données recueillies (jusqu'en 1968) révélèrent moins d'impacts météoritiques que les spécialistes ne le prévoyaient, ce qui permit d'alléger sensiblement la structure des vaisseaux Apollo.

Pégase (ou **Pegasus).** Système américain de lancement spatial aéroporté.
ENCYCL. Développé par la firme Orbital Sciences Corp., il comprend une fusée à poudre de 181 (dans la version d'origine), emportée, jusqu'à 12 km d'altitude, par un avion porteur (B-52 jusqu'en 1994, TriStar ensuite), et il autorise la mise sur orbite (basse ou géostationnaire) de satellites de quelques centaines de kilogrammes, pour des missions scientifiques, commerciales ou de défense. Son premier lancement réussi a eu lieu le 5 avril 1990.
La version originelle a connu sept autres succès jusqu'en 1996. Une version améliorée, Pegasus XL, après des débuts difficiles (notamment l'échec de la première tentative, le 27 juin 1994), totalisait une quinzaine de lancements réussis à la fin de 1998.

Pegasus (-i). Nom latin de la constellation de Pégase (abrév *Peg).*

Peintre (en latin *Pictor, -oris).* Constellation australe, à l'ouest de la Carène et de la Poupe, introduite par La Caille en 1752 sous le nom de « Chevalet du Peintre ».
ENCYCL. Sa plus brillante étoile a une magnitude apparente de 3,3. Dans l'angle nord-ouest de la constellation se tient l'étoile de Kapteyn, naine rouge de magnitude 8,5, remarquable par son mouvement* propre, mis en évidence en 1897 par le Néerlandais J.C. Kapteyn. Sa grande vitesse spatiale (plus de 300 km/s) et sa proximité de la Terre (13 années de lumière), expliquent cette particularité. L'étoile P *Pictoris* est* entourée d'un système planétaire en formation.

Peiresc (Nicolas Claude Fabri de), savant français (Belgentier, Var, 1580-Aix-en-Provence 1637).
Conseiller au parlement de Provence (1604), passionné d'astronomie, ami de Galilée (qu'il défendit contre l'Inquisition) et de Gassendi, il compta parmi les premiers utilisateurs de la lunette en France et se livra à de nombreuses observations de la Lune, du Soleil, des planètes, etc. En 1611, il découvrit la nébuleuse d'Orion*.

Pékin (observatoire de). Institut de recherche d'astrophysique de l'Académie des sciences de Chine, fondé en 1958. Il dispose d'équipements pour l'astronomie optique, la radioastronomie, les observations solaires et l'astrométrie répartis à travers cinq stations d'observation.

pénétrateur n.m. Dispositif destiné à s'ancrer à la surface d'un astre pour effectuer, en un point fixe, la saisie de divers paramètres physico-chimiques.

pénombre n.f. 1. Zone entourant le cône d'ombre d'un astre du système solaire d'où une partie seulement du disque solaire est visible. Au cours des éclipses de Lune, totales ou partielles, la trace de la pénombre borde l'ombre portée par la Terre sur la Lune. 2. Partie périphérique d'une tache solaire, à structure filamenteuse approximativement radiale.

Penzias (Arno), radioastronome américain (Munich 1933). Entré aux Bell Laboratories en 1961, il effectua d'abord des recherches dans le domaine des radiocommunications. En 1965, il découvrit fortuitement, avec R. Wilson*, le rayonnement thermique du fond du ciel à 3 kelvins. Cette découverte et son interprétation, qui confortent la théorie cosmologique du Big* Bang, lui a valu de partager avec R. Wilson le prix Nobel de physique en 1978. Il a pris ensuite une part active au développement de la radioastronomie millimétrique et à l'étude des molécules interstellaires.

Péole (pour « préliminaire à Éole »). Sixième satellite français, mis sur orbite le 12 décembre 1970 depuis Kourou.
ENCYCL. Sa mission était à la fois technologique (mise au point du lanceur Diamant B et essai de certains équipements du futur satellite Éole) et scientifique (mesures géodésiques par laser dans les zones équatoriales). Il a cessé d'émettre le 28 mars 1972, mais les expériences géodésiques se sont poursuivies au-delà de cette date.

Per. Abréviation de *Perseus,* désignant la constellation de Persée.

périastre n.m. 1. Point de l'orbite d'un corps céleste en mouvement orbital qui est le plus proche du centre d'attraction. **2.** Point de l'orbite d'un objet spatial situé au plus près du centre de l'astre attracteur. CONTR : *apoastre.*
ENCYCL. Le périastre d'une orbite autour de la Terre (Lune, satellites artificiels) s'appelle *périgée,* celui d'une orbite autour du Soleil (planètes, comètes), *périhélie.* Le terme s'emploie plus spécialement dans le cas des étoiles doubles physiques pour désigner le point où les deux étoiles du système sont les plus proches l'une de l'autre.

périgée n.m. (du grec *péri,* autour de, et *gê,* terre). Point de l'orbite d'un satellite de la Terre où la distance de ce corps à la Terre est minimale. Par extension, point de l'orbite d'un corps quelconque du système solaire où la distance de ce corps à la Terre est minimale, CONTR. : *apogée.*

périhélie n.m. Point de l'orbite d'un corps céleste où la distance de ce corps au Soleil est minimale*. Par extension, cette distance elle-même, CONTR. : *aphélie. Avance du périhélie :* lente rotation de l'orbite d'une planète dans son plan, de même sens que le mouvement orbital, et exprimée par un terme séculaire de la longitude du périhélie. La mécanique céleste classique explique la partie principale de cette avance et laisse, notamment pour la planète Mercure, un résidu dont rend compte la théorie de la relativité* générale.

période n.f. Intervalle de temps constant après lequel, dans l'évolution d'un phénomène dit périodique, une grandeur reprend la même valeur. *Période de révolution :* en par-

lant d'un corps en mouvement orbital autour d'un autre, intervalle de temps séparant deux passages consécutifs de ce corps en un point quelconque de son orbite.

période-luminosité (relation). Relation entre la période des variations d'éclat de certaines étoiles variables régulières (céphéides*, RR Lyrae*) et leur magnitude absolue.

périsélène n.m. (du grec *péri,* autour de, et *sêlêne,* lune). Point de l'orbite d'un corps tournant autour de la Lune où la distance de ce corps à la Lune est minimale, CONTR. : *aposélène.*

Perle (la). Étoile a de la Couronne boréale. Magnitude apparente visuelle : 2,2. Type spectral : A0. Distance : 74 années de lumière. C'est une binaire spectroscopique. On l'appelle aussi *Gemma* ou *Margarita.*

peroxyde d'azote. Ergol stockable, de formule chimique N_2O_4, utilisé comme comburant dans les moteurs des étages inférieurs de nombreux lanceurs, en général associé à i'UDMH ou à l'UH 25.
ENCYCL. C'est un liquide rouge-brun, toxique. Température d'ébullition (sous pression normale) : 21,1 °C. Masse volumique : 1 434 kg/m^3.

Perrin (Philippe), officier de l'armée de l'air et spationaute français (Meknès, Maroc, 1963).
Sélectionné comme spationaute par le CNES en juillet 1996, il suit à Houston (Texas, Etats-Unis) une formation de spécialiste de mission.

Persée (en latin *Perseus).* Constellation boréale, voisine de Cassiopée.
ENCYCL. Ses étoiles principales sont Mirfak* et Algol*. Traversée par la Voie lactée, elle est riche en amas stellaires, parmi lesquels les amas ouverts h et X *Persei,* perceptibles à l'œil nu, et M 34, bien visible avec des jumelles. Elle renferme également un amas riche de galaxies, situé à 250 millions d'années de lumière environ, qui constitue une source très intense de rayonnement X.

Perséides. Essaim de météorites, et météores associés observables fin juillet et début août, avec un maximum le 12 août, dont le radiant se trouve dans la constellation de Persée.
ENCYCL. Cet essaim provient de la comète périodique Swift-Tuttie (1862 III). En Europe, ces météores, parce qu'ils surviennent durant des nuits d'été, sont les plus connus du grand public. Le plus grand nombre était observable autrefois le 10 août, jour de la Saint-Laurent, d'où l'appellation populaire de « larmes de Saint-Laurent » qui leur a été donnée.

Perseus (-i). Nom latin de la constellation de Persée (abrév. *Per).*

Perseus (nom latin de la constellation de Persée). Septième mission spatiale habitée franco-russe, avec la participation du spationaute français Jean-Pierre Haigneré, membre du corps des astronautes de l'ESA.
ENCYCL. Perseus a présenté plusieurs particularités :
- la désignation du spationaute français en tant qu'ingénieur de bord et expérimentateur alors que ses prédécesseurs n'étaient qu'expérimentateurs,
- sa durée (six mois contre deux à quatre semaines auparavant),
- la réalisation de deux sorties extravéhiculaires.

Parti de Baïkonour le 20 février 1999, avec le vaisseau Soyouz TM 29, l'équipage - composé du Russe Victor. M. Afanassiev, du Slovaque Ivan Bella et du Français J.-P. Haigneré - a rejoint la station Mir le surlendemain.
Le programme expérimental de cette mission a principalement porté sur les sciences de la vie (expériences Physiolab, Cognilab, Genesis,...), la physique (expérience Alice 2), l'astronomie (expériences Cornet et Exobiologie) et la technologie (expériences Spica et Castor).

perturbation n.f. Effet sur le mouvement d'un corps céleste gravitant autour d'un autre de toute action naturelle s'ajoutant à l'attraction du corps principal.
ENCYCL. Le mouvement képlérien d'une planète autour du Soleil est perturbé par les attractions mutuelles des planètes. Les ac-

tions correspondantes, bien que faibles, sont loin d'être négligeables, parce qu'elles sont continues et que leurs effets s'additionnent dans le temps.

Les perturbations des mouvements des corps célestes peuvent être de différentes natures : perturbations dues à l'aplatissement du corps central (sensible pour les satellites de Jupiter ou les satellites artificiels de la Terre), perturbations dues à l'action du Soleil sur le mouvement de la Lune autour de la Terre, perturbations dues à des effets de relativité* générale (sensibles sur le mouvement du périhélie de Mercure autour du Soleil), etc.

pesanteur n.f. Force s'exerçant sur les objets situés à la surface ou au voisinage d'un astre.

ENCYCL. D'un point de vue physique, tout corps placé à la surface d'un astre subit une accélération dont le module est donné par la relation :

$g = GM/R^2$,

dans laquelle G désigne la constante de la gravitation universelle

($G = 6{,}672\ 10^{-11}$ N-m^2-kg^{-2}),

M la masse de l'astre et R son rayon. Cette grandeur g (appelée *accélération* ou *intensité de la pesanteur)* est l'une des caractéristiques fondamentales de tout corps céleste. Sur la Terre, elle varie avec la latitude : de 9,78 m-s^{-2} à l'équateur à 9,83 m-s^{-2} aux pôles, la valeur moyenne retenue pour le niveau de la mer étant 9,81 m-s^{-2}.

Si un astre ne pivotait pas sur lui-même, la pesanteur serait identique à la gravité. Et il est vrai que sur Terre l'écart entre les deux est minime puisque l'accélération associée à la force centrifuge est au maximum (à l'équateur) trois cent fois plus faible que celle de la pesanteur. Aussi a-t-on tendance, dans la pratique, à assimiler la pesanteur à la gravité, mais formellement elles ne sont pas équivalentes. Observons toutefois que si la rotation terrestre était dix-sept fois plus rapide, tout objet aurait, à l'équateur, un poids nul : il y régnerait l'état d'impesanteur*.

PESANTEUR ARTIFICIELLE. Dans l'espace, tout vaisseau spatial se trouve normalement en état d'impesanteur. Une pesanteur artificielle peut cependant y être recréée de diverses façons :

- en mettant en marche un système de propulsion ;
- en le reliant par un câble à un second vaisseau, l'ensemble (en forme d'haltère) pivotant autour du centre de masse ;
- en utilisant un vaisseau en forme de tore mis en rotation.

C'est à l'un de ces artifices qu'il faudrait recourir si l'on souhaitait restituer, plus ou moins partiellement, un facteur de l'environnement terrestre dans les stations orbitales ou les vaisseaux interplanétaires appelés à de longs séjours dans l'espace. **micropesanteur**

Phact. Étoile a de la Colombe. Magnitude apparente visuelle : 2,6. Type spectral : B5. Distance : 270 années de lumière.

PHARAO (sigle de Projet d'Horloge Atomique par Refroidissement d'Atomes en Orbite). Projet d'instrument développé à la demande de l'ESA en vue d'une expérimentation sur la Station spatiale internationale vers 2002-2003.

ENCYCL. Sa conception résulte de travaux scientifiques et techniques conduits avec le soutien du CNES par trois laboratoires français : le laboratoire Kastler Brossel de l'École normale supérieure, l'Observatoire de Paris (Bureau national de métrologie-Laboratoire primaire temps fréquence) et le Laboratoire de l'horloge atomique.

PHARAO consiste à développer un nouveau type d'horloge atomique embarquée ultrastable utilisant la technique de refroidissement et piégeage par laser d'une vapeur d'atomes de césium, technique récompensée parle prix Nobel de physique 1997.

Basé sur le principe d'une première réalisation de laboratoire dite " fontaine atomique" - à ce jour la meilleure horloge atomique à césium du monde - un prototype "avion" a été fabriqué et expérimenté au cours d'une campagne de vols paraboliques de l'Airbus zéro g en mai 1997.

PHARAO pourrait être utilisé lors de futures expériences spatiales de physique fondamentale, pour de nouveaux systèmes de distribution du temps ou pour des systèmes de positionnement ultraprécis.

phase n.f. (du grec *phainein,* faire briller, faire paraître). Chacun des aspects successifs sous lesquels apparaissent la Lune et les planètes au cours d'une révolution synodique, selon leur position dans l'espace par rapport à la Terre et au Soleil. Le cycle des phases de la Lune (*voir* figure) constitue la lunaison, appelée aussi mois lunaire. Parmi les planètes, seules Mercure et Vénus, plus proches du Soleil que la Terre, présentent pour un observateur terrestre des phases bien marquées. *Angle de phase :* angle ayant son sommet au centre d'un corps éclairé, entre la direction de l'astre éclairant (Soleil pour un corps du système solaire, étoile principale pour une binaire à éclipses) et celle qui est à l'opposé de l'observateur.
ENCYCL. Pour une planète, c'est l'angle a des directions planète-Soleil et planète-Terre. La fraction éclairée du disque de la planète vue de la Terre vaut $k = 1/2\ (1 + \cos p)$.

phase n.f. Partie d'un projet spatial constituée par un ensemble ordonné de tâches, engagées par une décision et conclues par un rapport ou une revue.
ENCYCL. On distingue généralement quatre phases : la phase A, qui comprend l'étude de faisabilité des systèmes, sous-systèmes et équipements susceptibles de répondre à la mission ; la phase B, qui comprend la définition et la confirmation de faisabilité des sous-systèmes et équipements ; la phase C, qui comprend la conception industrielle des sous-systèmes et équipements et de leurs interfaces ; et la phase D, qui comprend la fabrication, l'intégration, les essais et la qualification. Certains désignent aussi sous le nom de phase 0 l'analyse de la mission, qui précède la phase A, et sous l'appellation de phase E la phase d'exploitation (dite phase d'utilisation), qui succède à la phase D.

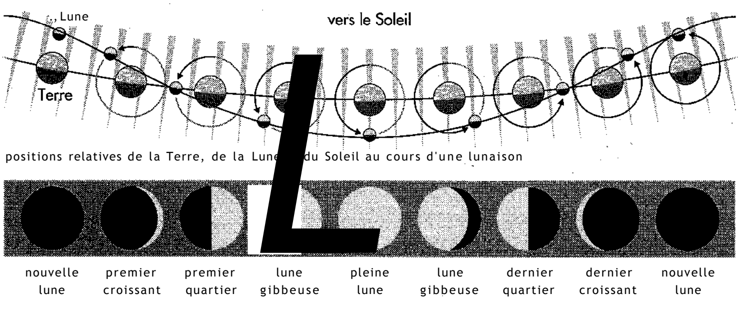
Phe. Abréviation de *Phœnix,* désignant la constellation du Phénix.

Phecda (de l'arabe *fekhah-al-dubb-al-akbar,* la cuisse du grand ours, par allusion à sa position dans la constellation). Etoile γ de la Grande Ourse. Magnitude apparente visuelle : 2,4. Type spectral : AO. Distance : 84 années de lumière environ.

Phénix (en latin *Phœnix, -icis).* Petite constellation australe, au nord-ouest de l'étoile brillante Achernar, introduite par J. Bayer en 1603 dans son *Uranometria.* Son étoile la plus brillante est de magnitude apparente 2,4.

phénomène lunaire transitoire (PLT). Éclairement ou assombrissement fugitif et localisé d'une région de la surface lunaire.
ENCYCL. De nombreux observateurs de la Lune ont affirmé avoir été les témoins de phénomènes lunaires transitoires. Ceux-ci se concentrent sur le pourtour de mers circulaires et dans certaines vallées ; la plupart ont été signalés à des époques voisines d'un passage de la Lune au périgée de son orbite. Les observations les plus nombreuses concernent les régions des cratères Aristarque* et Alphonse*. Bien que la réalité physique des PLT reste controversée, on pense généralement qu'ils s'expliquent par des bouffées de gaz provenant de l'intérieur de

Phases de la Lune



la Lune ou libérées par des roches de la surface.

Phobos. Satellite de Mars (n° I), découvert en 1877 par l'Américain Asaph Hall. Demi-grand axe de son orbite : 9 380 km. Période de révolution sidérale : 0,319 j, soit 7 h 39 min.

ENCYCL. Les engins spatiaux américains Mariner 9 en 1971-72, puis Viking Orbiter 1 et Viking Orbiter 2 à partir de 1976 ont révélé ses caractéristiques physiques. Comme Deimos*, l'autre satellite martien, c'est un bloc rocheux de forme irrégulière (approximativement un ellipsoïde de révolution triaxial de 27 X 21 X 19 km), à la surface saturée de cratères météoritiques, en rotation synchrone autour de Mars ; il s'agit vraisemblablement d'un astéroïde capturé. En 1989, deux sondes soviétiques Phobos devaient effectuer un survol très rapproché de ce satellite et larguer des instruments scientifiques à sa surface. Elles sont malheureusement tombées en panne avant d'avoir pu remplir leur mission. Phobos 2 s'est approchée néanmoins à 190 km de Phobos, et en a fourni des images atteignant, pour un quart de la surface de l'astre, une résolution spatiale meilleure que celle obtenue lors des missions antérieures.

Phobos. Sondes spatiales soviétiques destinées à l'étude de Mars et de son satellite Phobos.

ENCYCL. Deux sondes, lancées les 7 et 12 juillet 1988, avaient pour mission de se mettre en orbite autour de la planète Mars, puis de survoler son satellite Phobos à une altitude inférieure à 100 m et de larguer à sa surface deux modules chargés d'instruments scientifiques, l'un conçu pour s'ancrer dans le sol, l'autre pour effectuer une dizaine de bonds, à la manière d'une sauterelle.

Le contact avec Phobos 1 a été perdu le 2 septembre 1988, à la suite d'une erreur de télécommande. Phobos 2 s'est correctement mise en orbite en janvier 1989 autour de Mars, dont elle a permis d'obtenir près de 40 000 spectres infrarouges couvrant près de 15 % de la région de la planète comprise entre 30° de latitude nord et 30° de latitude sud, ainsi que des cartes thermiques des régions équatoriales, qui ont permis d'étudier pour la première fois en détail les qualités thermiques du régolite martien.

La sonde a pu également s'approcher jusqu'à une distance de 190 km du satellite Phobos, dont elle a fourni des images atteignant, pour un quart du satellite, une résolution spatiale de 500 m, meilleure que celle obtenue lors des précédentes missions spatiales. Ces images ont permis, notamment, de mieux connaître la forme du satellite, les variations de teinte de sa surface et la valeur de sa densité. Mais la sonde a, elle aussi, cessé de fonctionner (le 27 mars 1989) avant son survol très rapproché de Phobos et, donc, sans avoir pu larguer à sa surface les instruments scientifiques qu'elle devait y déposer.

Phoebé. Satellite de Saturne (n° IX), le plus extérieur, découvert en 1898 par l'Américain W.H. Pickering. Demi-grand axe de son orbite : 12 954 000 km. Période de révolution sidérale : 550,4 j.

ENCYCL. Cet astre se distingue des autres satellites de Saturne par son éloignement beaucoup plus grand de la planète, sa révolution rétrograde et la forte excentricité de son orbite : sans doute s'agit-il d'un astéroïde qui a été capturé par l'attraction de Saturne. Les photographies qu'en a fournies la sonde américaine Voyager 2 en 1981 révèlent un astre approximativement sphérique de 230 x210 km de diamètre, tournant sur lui-même en 9 h environ, dont la surface est très sombre et rougeâtre.

Phœnix (-icis). Nom latin de la constellation du Phénix (abrév. *Phe).*

photodiode n.f. Diode à semi-conducteur dans laquelle un rayonnement lumineux incident détermine une variation du courant électrique.

photoélectrique (effet). Émission d'électrons par certains métaux sous l'effet de radiations lumineuses dont la fréquence est supérieure à un seuil caractéristique du métal considéré.

ENCYCL. L'effet photoélectrique est à la base du fonctionnement des photomètres photoélectriques (notamment, les photomultiplicateurs) et des divers récepteurs photo-

électriques utilisés en astronomie : caméra électronique, caméra à comptage de photons, caméra CCD, etc. Ces détecteurs ont un bien meilleur rendement que la plaque photographique : ils autorisent des temps de pose plus réduits tout en donnant accès à des astres moins lumineux, c'est-à-dire, souvent, plus lointains.

photographie spatiale. Prise de vues effectuée à l'aide de moyens spatiaux.
ENCYCL. La photographie spatiale de la Terre est très répandue, à des fins civiles (télédétection* des ressources naturelles, météorologie*) ou militaires (reconnaissance* photographique). Elle s'effectue dans le visible ou l'infrarouge. La résolution des images est de 10 à 30 m pour les applications civiles ; elle peut atteindre une dizaine de centimètres pour les applications militaires. Les systèmes d'imagerie jouent aussi un rôle essentiel à bord des sondes* chargées d'explorer les autres corps du système solaire et des observatoires spatiaux placés en orbite autour de la Terre pour scruter les astres lointains.

photomètre n.m. Instrument qui sert à mesurer l'intensité d'une source lumineuse.

photométrie n.f. Ensemble des techniques utilisées pour déterminer la magnitude des astres dans des intervalles de longueurs d'onde spécifiés.
ENCYCL. Les mesures photométriques révèlent certaines caractéristiques physiques des étoiles, indépendamment de l'étude de leur spectre. Elles sont à la base de la détermination de la courbe de lumière des étoiles variables. Ces mesures sont généralement effectuées à l'aide de dispositifs photoélectriques. L'un des systèmes photométriques le plus couramment utilisé, de l'ultraviolet à l'infrarouge, est le système UBV*.

photomultiplicateur n.m. Cellule photoélectrique dans laquelle le flux d'électrons émis parla cathode est amplifié progressivement avant d'atteindre l'anode grâce à une série d'électrodes protées à des potentiels croissants et qui provoquent chacune une émission d'électrons secondaires. Ce dispositif est utilisé notamment en photométrie photoélectrique.

photon n.m. Objet quantique spécifique de la lumière, véhicule des interactions électromagnétiques. Une onde lumineuse monochromatique de fréquence v est formée d'un ensemble de photons, porteurs chacun d'une énergie hv, h étant la constante de Planck.

Photon. Capsules spatiales russes, automatiques et réutilisables, destinées à des recherches en micropesanteur.
ENCYCL. Pesant environ 61, elles peuvent emporter au moins 500 kg de matériel pour des missions de deux semaines.
Depuis 1988, date de leur commercialisation, une douzaine d'exemplaires ont été lancés.
Le 3 mars 1995, Photon 10 a été victime d'un accident peu banal : en raison de mauvaises conditions météorologiques, elle a dû être larguée, à 100 m du sol, par l'hélicoptère qui la transportait de son lieu d'atterrissage vers un terrain d'aviation. La plupart des expériences qu'elle contenait ont été détruites au cours de cette chute.

photopile n.f. Dispositif qui produit de l'énergie électrique par conversion directe d'énergie lumineuse (issue, en particulier, du Soleil), SYN : *cellule solaire, file solaire*
ENCYCL. Une photopile comprend essentiellement une couche d'un matériau semi-conducteur, suffisamment épaisse pour absorber la quasi-totalité du rayonnement incident, et une jonction semi-conductrice. Les photons du rayonnement incident qui ont une énergie suffisante sont absorbés en donnant naissance à une paire électron-trou. À l'intérieur de la jonction existe un champ électrique, dont l'action sépare les couples électron-trou en provoquant la naissance d'un courant. Celui-ci est collecté au moyen de contacts métalliques reliés à un circuit électrique fermé.
Une photopile se caractérise notamment par son rendement, qui est le rapport entre la puissance maximale qu'elle délivre et la puissance qu'elle reçoit. Les photopiles actuellement en usage dans les activités spatiales ont des rendements de 10 à 20 % en orbite terrestre basse, mais deviennent inutilisables à de grandes distances du Soleil (en raison des basses températures auxquelles

elles sont alors soumises et de la faible intensité lumineuse qu'elles reçoivent). Cependant, en 1994, des industriels européens ont mis au point des photopiles au silicium ayant un rendement record de 25 % et qui pourront être utilisées notamment pour de futures missions spatiales lointaines.

photopolarimètre n.m. Polarimètre comportant une cellule photoélectrique.
ENCYCL. Dépourvues de caméras, les sondes Pioneer* 10 et 11 ont obtenu les premières images spatiales rapprochées de Jupiter et de Saturne à l'aide d'un photopolarimètre auquel la combinaison de leur déplacement sur leur trajectoire et de leur rotation sur elles-mêmes imprimait un mouvement de balayage.

photo-satellite n.f. Prise de vue photographique effectuée depuis un satellite artificiel.

photosphère n.f. Région de l'atmosphère d'une étoile, en particulier du Soleil, d'où provient la quasi-totalité du rayonnement optique.
ENCYCL. La photosphère la mieux étudiée est celle du Soleil. De faible épaisseur relative, elle forme ce qu'on appelle la « surface » solaire, séparant les régions où le gaz est opaque au rayonnement lumineux (intérieur du Soleil) de celles où il devient transparent. Son épaisseur ne dépasse pas 200 km. La masse volumique y est de l'ordre de 10^{-8} g/cm^3. La température électronique varie de 8 000 K pour les couches profondes à 4 500 K vers l'extérieur. La photosphère se situe juste au-dessus de la région où la chaleur provenant des réactions nucléaires qui se produisent à l'intérieur du Soleil se convertit en mouvements convectifs, et certains de ces mouvements sont encore observables à son niveau : la granulation, formée par un ensemble de cellules convectives dont la dimension horizontale est de l'ordre de 1 500 km et la durée de quelques minutes à quelques heures ; la supergranulation, dont les cellules s'étendent en moyenne sur quelque 30 000 km et durent de quelques heures à quelques dizaines d'heures ; enfin, d'autres cellules convectives à beaucoup plus grande échelle spatiale et temporelle. Cette convention globale, jointe à la rotation différentielle du Soleil, fournit des conditions favorables à la génération de champs magnétiques intenses, à l'origine de phénomènes tels que les taches*, les pores* et les facules*.
La photosphère perd de l'énergie vers l'extérieur par rayonnement des photons, accélération de particules, mouvements convectifs, ondes acoustiques, ondes magnétiques ; mais elle reçoit aussi une partie de l'énergie perdue par rayonnement et conduction et provenant de la couronne*. Ces échanges sont à l'origine des phénomènes de couplages aérodynamiques et électromagnétiques, transitoires et/ou permanents, qui s'observent dans la chromosphère*.

photosphérique adj. Relatif à la photosphère du Soleil ou d'une étoile quelconque.

physiologie spatiale. Science qui étudie l'influence du milieu spatial sur les fonctions organiques d'un être humain ou d'un animal.

physique spatiale. Ensemble des activités de la physique qui mettent en œuvre des systèmes spatiaux.

Piazzi (père Giuseppe), astronome et religieux italien (Ponte in Valtellina 1746-Naples 1826).
Fondateur de l'observatoire de Palerme (1791), il fut le premier à découvrir une petite planète, Cérès*, le 1er janvier 1801, entre Mars et Jupiter.

pic du Midi (observatoire du). Observatoire français, au sommet du pic du Midi de Bigorre, à 2 870 m d'altitude, dans les Hautes-Pyrénées, construit à partir de 1878.
ENCYCL. Il est réputé pour la qualité des observations solaires et planétaires qui peuvent y être effectuées. B. Lyot y installa son premier coronographe en 1930. Son télescope de 1 m a permis de réaliser, avant l'ère spatiale, les meilleures photographies de la surface lunaire et des surfaces planétaires. Son principal instrument est, depuis 1979, le télescope Bernard Lyot, de 2 m de diamètre (le plus gros télescope installé sur le sol français), implanté au sommet d'une tour de

28 m de hauteur, sous une coupole à ouverture circulaire exactement ajustée au tube de l'instrument.
Pour des raisons de coût d'exploitation, la fermeture de l'observatoire avait été envisagée pour la fin du siècle. Un plan (Pic 2000) prévoyant une contribution financière des collectivités locales et régionales ainsi que le développement du tourisme sur le site permet finalement la poursuite des activités de recherche.

Pic. Abréviation de *Pictor*, désignant la constellation du Peintre.

Picard (abbé Jean), astronome et géodésien français (La Flèche 1620-Paris 1682). Il mesura un arc du méridien de Paris entre Sourdon, au sud d'Amiens, et Malvoisine, au sud de Paris (1669-70), et procéda, avec La Hire, à des relevés géodésiques pour déterminer les coordonnées géographiques de plusieurs villes de France (1679-1682). À l'Observatoire de Paris, où il entra en 1673, il collabora avec J.D. Cassini* et O. Rômer*.

Pickering (Edward), astronome américain (Boston, Massachusetts, 1845-Cambridge, Massachusetts, 1919).
Directeur de l'observatoire de l'université Harvard de 1877 à sa mort, il fut un pionnier de l'astrophysique, s'illustrant par de nombreux travaux de photométrie, de photographie et de spectroscopie stellaires.

Pickering (William Henry), astronome américain (Boston, Massachusetts, 1858-Mandeville, Jamaïque, 1938).
Frère de E. Pickering, il fut l'un des premiers à obtenir des photographies de Mars (1888), découvrit l'un des satellites de Saturne, Phœbé (1898), et fut à l'origine de l'atlas céleste photographique de Harvard. Il suggéra, indépendamment de Lowell, l'existence, au-delà de Neptune, d'une planète inconnue dont il calcula l'orbite.

Pictor (-is). Nom latin de la constellation du Peintre (abrév. *Pic).*

P Pictoris. Étoile P du Peintre. Magnitude apparente : 3,8. Type spectral : A5. Distance : 63 années de lumière.

ENCYCL. Des clichés pris dans l'infrarouge par le satellite IRAS* en 1983 ont révélé, autour de cette étoile (âgée de moins de un milliard d'années environ), la présence d'un disque de gaz et de poussières. Celui-ci a pu être photographié pour la première fois en 1986 dans le domaine visible.
Il fait depuis l'objet de nombreuses études. Vu par la tranche, il s'étend sur plus de 1 000 fois la distance qui sépare la Terre du Soleil. Toutefois, près de l'étoile, on ne distingue pas sa structure à moins de 40 fois la distance Terre-Soleil ; en effet, l'étoile, un milliard de fois plus brillante que le disque, en masque la région centrale. Plusieurs indices observationnels donnent à penser que ce disque est un jeune système planétaire. Ainsi, des observations spectrales suggèrent que de nombreuses comètes tombent sur l'étoile et, pour expliquer le phénomène, on doit considérer que le mouvement de ces petits corps est perturbé par l'attraction gravitationnelle d'une ou de plusieurs planètes. Par ailleurs, la distribution des poussières du disque, qui n'est pas symétrique, peut également s'expliquer par des perturbations planétaires. Enfin, on a constaté une importante variation de la magnitude de p *Pictoris* au cours du mois de novembre 1981 avec, en particulier, une brusque diminution de l'éclat de l'étoile dans la nuit du 10 novembre ; une explication possible du phénomène est que l'étoile a été occultée par une planète géante d'un diamètre de l'ordre d'une à deux fois celui de Jupiter.

pile à combustible. Équipement de production d'énergie électrique à partir de la réaction entre un oxydant et un réducteur, en général l'oxygène et l'hydrogène, en présence d'un catalyseur.
ENCYCL. Comme tout générateur électrochimique, la pile à combustible crée directement une circulation d'électrons (donc un courant électrique) à partir de la réaction d'oxydo-réduction observée, au sein d'un électrolyte, entre deux substances appropriées. Stockées dans des réservoirs distincts, celles-ci alimentent continûment la pile. Dans son principe, elle repose sur la réaction inverse de l'électrolyse de l'eau (décomposition en hydrogène et oxygène par un courant électrique).

C'est en 1802 que le chimiste anglais sir H. Davy découvre le principe de la pile à combustible et en 1839 que son compatriote, sir W. R. Grove, construit la première cellule combinant l'hydrogène et l'oxygène. Les premières piles à combustible opérationnelles sont réalisées (en Grande-Bretagne et aux États-Unis) au^milieu du xxe siècle, à une époque où les États-Unis sont à la recherche de générateurs électriques pour leurs véhicules spatiaux habités. Elles connaîtront par ailleurs d'autres applications, notamment dans le secteur militaire.

Comparée aux autres sources d'électricité utilisables sur les engins spatiaux, la pile à combustible se caractérise par :

- un bon bilan d'énergie massique,
- un excellent rendement (de 50 à 60 %),
- une bonne fiabilité,
- la production annexe d'eau utilisable par les astronautes,
- une faible autonomie (liée aux difficultés de stockage prolongé des gaz réactifs, nécessairement réalisé par voie cryotechnique).

En conséquence, son emploi reste réservé à des missions habitées de courte durée (quelques semaines au maximum).

Les piles à combustible spatialisées sont opérationnelles aux États-Unis depuis trente ans (capsules des programmes Gemini et Apolio, orbiteurs de la navette) et en cours de développement en Europe.

pilotage n.m. Commande de l'orientation et, éventuellement, de la vitesse d'un véhicule aéronautique ou spatial. Le pilotage peut s'effectuer notamment par jet de gaz, volant d'inertie, tuyère orientable, etc.

Pioneer. Sondes spatiales lancées par les États-Unis entre 1958 et 1978.

ENCYCL. Issues d'un programme engagé par l'US Air Force et l'US Army, les sondes Pioneer 1 à 4 furent les premières sondes américaines lancées vers la Lune, en 1958-1959. Très légères (40 kg environ), elles devaient survoler la Lune ou se satelliser autour de celle-ci. Aucune n'atteignit cet objectif, mais elles apportèrent une contribution significative à une meilleure connaissance de l'environnement magnétique de la Terre. Le 11 octobre 1958, Pioneer 1 s'éleva à 114 000 km avant de retomber dans l'océan Pacifique. Après l'échec de Pioneer 2, victime d'une défaillance de son lanceur, le 8 novembre, Pioneer 3, le 6 décembre, s'éloigna à 102 000 km. Puis Pioneer 4, lancée le 3 mars 1959, passa à 60 000 km de la Lune avant de se placer en orbite autour de Soleil et de devenir ainsi une planète artificielle. Munie d'un compteur de Geiger-Mùller, cette sonde fournit de précieux renseignements sur les ceintures de rayonnement terrestres.

Les sondes Pioneer 5 à 9, lancées entre 1960 et 1968, furent de véritables sondes interplanétaires, placées en orbite autour du Soleil. Stabilisées par rotation, elles étaient encore très simples et très légères (60 kg environ), mais leurs mesures ont fait beaucoup progresser notre connaissance du milieu interplanétaire et des effets de l'activité solaire sur l'environnement magnétique de la Terre. À l'exception de Pioneer 5, elles ont fait preuve d'une remarquable longévité en fonctionnant plus de 20 ans alors qu'elles n'avaient été conçues que pour une mission de 6 mois. Pioneer 6, lancée le 16 décembre 1965, s'illustra notamment en étudiant, en 1973, la queue de la comète Kohoutek ; vingt-cinq ans après son lancement, elle transmettait encore des données sur le vent solaire, alors qu'elle avait parcouru 24,7 milliards de kilomètres et qu'elle accomplissait sa vingt-neuvième révolution autour du Soleil. Une ultime sonde de cette série ne put être placée en orbite le 7 août 1969, par suite d'une défaillance de son lanceur, et n'a donc pas reçu de numéro d'ordre.

Les quatre dernières sondes Pioneer, lancées à partir de 1972, ont été consacrées à l'étude des planètes. Elles se distinguaient des sondes Mariner*, Viking* ou Voyager*, exploitées parallèlement par la NASA, par leur plus grande simplicité, leur stabilisation par rotation, et leur coût plus réduit. Deux sondes eurent pour mission d'étudier les planètes géantes. Lancée le 3 mars 1972, Pioneer 10 fut la première sonde à survoler Jupiter*, en décembre 1973. Lancée un an plus tard, le 5 avril 1973, Pioneer 11 accomplit une mission identique en décembre 1974 avant d'utiliser l'attraction jovienne pour rebondir vers Saturne* et devenir le premier engin à survoler cette planète, le 1er septembre 1979. Ces deux sondes ont été aussi les pre-

mières à traverser la ceinture d'astéroïdes. Pioneer 10 a été le premier engin de fabrication humaine à franchir l'orbite de Pluton. Jusqu'au 17 février 1998, c'était la sonde la plus lointaine (elle se trouvait alors à 10,4 milliards de km environ de la Terre), mais elle a alors été "doublée" par Voyager 1, plus rapide. Pioneer 11 n'est plus écoutée depuis la fin de 1995 (après 22 ans de service et un parcours de 6,5 milliards de km).

Pour le cas où elle tomberait aux mains d'extraterrestres, chacune des deux sondes emporte une plaque en aluminium doré de 15 x 23 cm, sur laquelle sont gravées des indications destinées à expliquer leur provenance : un schéma du système solaire et de la trajectoire de l'engin, la position du système solaire par rapport à 14 étoiles particulières (pulsars) pouvant être considérées comme des balises célestes, et la silhouette d'un homme et d'une femme nus se détachant devant celle de la sonde (dont le rôle est de donner une échelle approximative de taille). Les deux dernières sondes Pioneer, lancées en 1978, ont eu pour rôle d'étudier Vénus et sont désignées habituellement sous l'appellation de Pioneer Venus 1 et 2.

Pioneer Venus. Nom de deux sondes américaines Pioneer destinées à l'étude de Vénus, qui ont été lancées en 1978.

ENCYCL. Lancées respectivement le 20 mai et le 8 août 1978, par des fusées Atlas-Centaur, les sondes Pioneer Venus 1 et Pioneer Venus 2 atteignirent Vénus à quelques jours seulement d'intervalle. Pioneer Venus 1, destinée à une mission orbitale, fut satellisée le 4 décembre 1978 autour de Vénus sur une orbite très elliptique (périastre : 150 km ; apoastre : 66 900 km), fortement inclinée sur l'équateur, décrite en 24 h, dont la géométrie lui permettait de survoler l'ensemble de la planète (et, notamment, pour la première fois, ses pôles) à des distances variées. La sonde emportait douze instruments scientifiques, dont un radaraltimètre destiné à cartographier la surface de Vénus et divers appareils (analyseur de plasma, détecteur de champ électrique, magnétomètre, photopolarimètre, etc.) chargés d'étudier les caractéristiques de l'atmosphère vénusienne et l'interaction de l'ionosphère et du vent solaire. Les relevés topographiques effectués par le radaraltimètre ont permis de couvrir 93 % de la surface, avec une résolution au sol de 25 km, l'altitude du relief étant déterminée à 200 m près. La sonde s'est consumée dans l'atmosphère de Vénus en octobre 1992. De structure différente, Pioneer Venus 2 emportait quatre sondes (une grosse et trois petites), chargées d'explorer in situ l'atmosphère vénusienne au-dessus de régions géographiques éloignées les unes des autres et représentatives de régimes météorologiques différents : respectivement du côté nuit et du côté jour, en zone équatoriale (grande sonde) et en zone polaire. La grande sonde était équipée de sept instruments scientifiques et chacune des petites (identiques) de trois, pour l'étude de la structure et de la composition des nuages et des couches basses de l'atmosphère ainsi que pour celle des vents entre les nuages et la surface. Larguées trois semaines environ avant d'atteindre Vénus, ces quatre sondes pénétrèrent dans l'atmosphère vénusienne le 9 décembre 1978 et remplirent parfaitement leur mission. Leur descente dans l'atmosphère dura une heure environ (la grande sonde, contrairement aux petites, était ralentie par un parachute) avant qu'elles ne soient détruites lors de leur impact à la surface. Le véhicule porteur, muni de deux spectromètres de masse, fut luimême utilisé comme une cinquième sonde et permit d'étudier l'ionosphère de Vénus avant de se consumer dans l'atmosphère de la planète à 115 km d'altitude.

Pisces (-ium). Nom latin de la constellation des Poissons (abrév. *Psc).*

Piscis Austrinus (i). Nom latin de la constellation du Poisson austral (abréviation *PsA).*

pixel (abréviation de *Picture Element,* élément d'image) n.m. Tache élémentaire d'une image restituée par télédétection.

Selon le champ du capteur utilisé et l'altitude du satellite, le pixel représente un élément de dimensions variables du paysage étudié : par exemple, de l'ordre de 10 m x 10 m pour SPOT (en mode panchromatique) et de 2,5 km x 2,5 km pour Météosat (canal visible).

plaine murée. Grand cratère lunaire au fond relativement plan, bordé d'un rempart montagneux circulaire.

Planck. Satellite de l'Agence spatiale européenne pour l'étude du rayonnement* du fond de ciel à 3 K.
ENCYCL. Comme le satellite américain MAP*, cet engin aura pour mission de mesurer les anisotropies du rayonnement cosmologique. Mais, grâce à une instrumentation couvrant une gamme de fréquences plus étendue et à des détecteurs refroidis à très basse température, il offrira une sensibilité nettement supérieure. Son lancement, par une fusée Ariane 5, est prévu en 2007, conjointement avec celui du satellite FIRST*, les deux engins devant être placés sur orbite au voisinage du point de Lagrange* L2 du système Terre-Soleil.

planétaire adj. 1. Qui se rapporte aux planètes : *mouvement planétaire.* 2. Qui a l'aspect d'une planète : *nébuleuse planétaire. Système planétaire :* ensemble des planètes gravitant autour d'une étoile

planétaire n.m. 1. Dispositif qui permet de figurer le mouvement des planètes autour du Soleil. 2. Appareil de projection d'un planétarium.

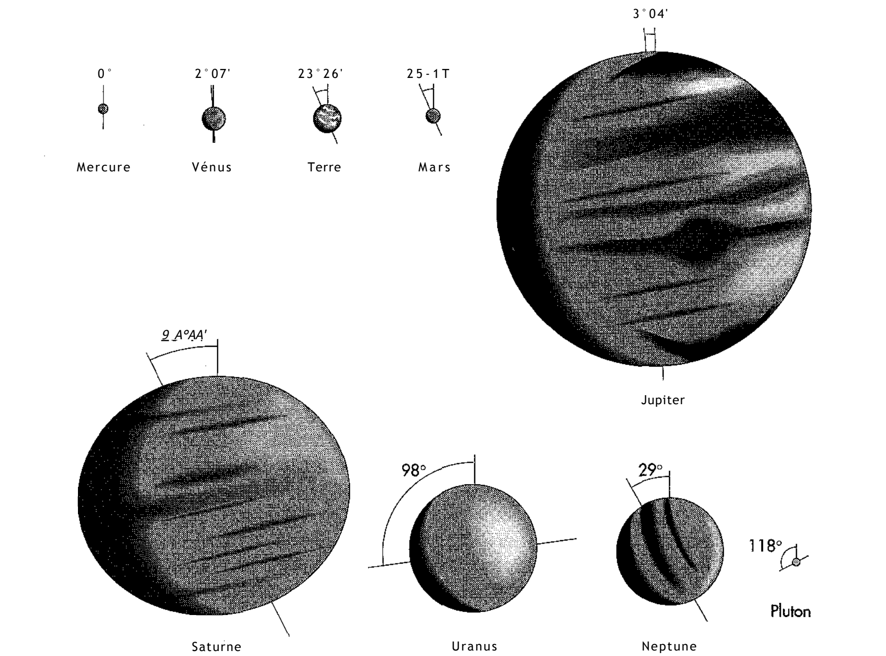
planétarium n.m. Installation permettant de représenter sur une voûte hémisphérique, grâce à des projections lumineuses, les principaux éléments de la sphère céleste, les mouvements des astres, l'aspect du ciel étoilé à différentes époques et certains phénomènes astronomiques. Le premier a été installé en 1925, à Munich. On en compte à présent plus d'un millier dans le monde.

Planetary Society (The). Association privée créée aux États-Unis par Louis Friedman, Bruce Murray et Cari Sagan afin de promouvoir la planétologie auprès du grand public.
ENCYCL. Avec plus de 100 000 membres répartis dans 120 pays, elle constitue la plus importante association privée s'intéressant à l'espace dans le monde. Elle édite une publication bimensuelle : *The Planetary Report.*

planète n.f. (du grec *planètês,* errant). Corps céleste non lumineux par lui-même qui gravite autour d'une étoile, en particulier autour du Soleil. *Petite planète :* synonyme de astéroïde. *Planète inférieure :* planète plus proche du Soleil que la Terre. *Planète supérieure :* planète plus éloignée du Soleil que la Terre. *Planète tellurique :* planète du type de la Terre.

ENCYCL. On connaît autour du Soleil neuf planètes principales, qui sont, de la plus proche du Soleil à la plus éloignée : Mercure*, Vénus*, la Terre*, Mars*, Jupiter*, Saturne*, Uranus*, Neptune* et Pluton*. Elles se répartissent en deux familles :
- près du Soleil, les planètes telluriques (Mercure, Vénus, la Terre et Mars), petites mais denses, dotées d'une croûte solide (*voir* figures), et qui ont profondément évolué depuis leur formation ;
- plus loin du Soleil, les planètes géantes (Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune), nettement plus massives et volumineuses, mais peu denses et dont l'atmosphère, à base d'hydrogène et d'hélium, a gardé une composition très proche de celle de la nébuleuse dont elles sont issues. **cosmogonie.** Pluton, encore mal connue, paraît s'apparenter aux planètes telluriques par ses dimensions et aux planètes géantes par sa densité. Le système solaire renferme aussi une multitude d'astéroïdes*.

L'EXPLORATION DES PLANÈTES. Elle^ est restée, jusqu'à présent, l'apanage des États-Unis et de la Russie. C'est le 12 février 1961 qu'un engin spatial, la sonde* soviétique Venera 1, a, pour la première fois, quitté la Terre en direction d'une autre planète, Vénus. Les sondes planétaires lancées au cours des années 60 avaient pour mission d'entreprendre l'étude rapprochée des deux planètes les plus voisines de la Terre, Vénus et Mars : les Américains, avec leurs sondes Mariner*, s'intéressèrent aux deux planètes, tandis que les Soviétiques, après l'échec d'une sonde lancée vers Mars en 1962, se consacrèrent exclusivement à l'exploration de Vénus, à l'aide de leurs sondes Venera*.
Au cours des années 70, l'exploration de Vénus et de Mars est entrée dans une phase nouvelle avec la satellisation d'engins autour de ces planètes (premiers succès : Mariner 9, en 1971, autour de Mars ; Venera 9 et 10, en



Dimensions comparées des planètes du système solaire et inclinaison de l'axe des **pôles** *par rapport à la perpendiculaire au plan de l'orbite.*

1975, autour de Vénus) et l'atterrissage à leur surface de capsules (sondes Venera 7 et suivantes, à partir de 1970, sur Vénus) ou de véritables laboratoires scientifiques (sondes américaines Viking* 1 et 2, en 1976, sur Mars) permettant la collecte *in situ* d'informations retransmises ensuite sur la Terre.

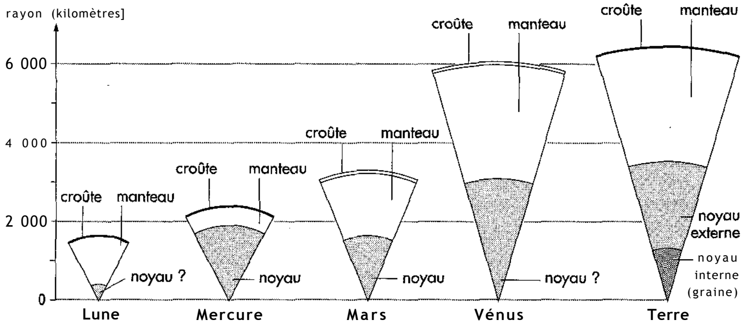
Durant la même période, l'exploration des planètes s'est étendue, grâce à des sondes américaines, à Mercure (Mariner 10, 1974) et, au-delà de Mars, à Jupiter (Pioneer* 10, 1973; Pioneer 11, 1974; Voyager* 1 et 2, 1979) et Saturne (Pioneer 11, 1979).

Au cours des années 80, les deux sondes américaines Voyager ont poursuivi l'étude de Saturne (1980-1981), avant que Voyager 2 n'étende l'exploration jusqu'à Uranus (1986), puis Neptune (1989).

Les années 90, après le succès de la mission de cartographie radar de Vénus par la sonde américaine Magellan*, ont été marquées par une reprise de l'exploration de Mars (sondes américaines Mars* Surveyor, Mars* Pathfinder, Mars* Climate Observer et Mars* Polar Lander) et de celle des planètes géantes (arrivée de la sonde américaine Galileo* près de Jupiter, lancement de la mission américano-européenne Cassini* - Huygens* vers Saturne). À l'actif de la sonde Galileo s'inscrit, par ailleurs, le premier survol rapproché (avec une transmission d'images) d'une petite planète, l'astéroïde Gaspra* le 29 octobre 1991).

PLANÈTES EXTRASOLAIRES. Épicure, au IIIe siècle av. J.-C., semble avoir été le premier à soulever la question de l'existence éventuelle de planètes autour d'autres étoiles que le Soleil. La théorie actuelle de la formation des planètes (à partir d'une nébuleuse de gaz et de poussières en rotation, qui s'aplatit progressivement en un disque, puis dans laquelle se condensent des objets de plus en plus gros) donne à penser que de très nombreuses étoiles sont susceptibles d'être entourées de pla-

Structure comparée des **planètes telluriques**



nètes. Cette hypothèse est confortée par des observations dans l'infrarouge qui ont révélé l'existence de disques de matière autour de plusieurs étoiles proches. On a tout lieu de penser, en particulier, que le disque découvert autour de l'étoile (3 *Pictoris** est un jeune système planétaire.

Cependant, la détection de planètes extrasolaires est extrêmement difficile, car ces planètes n'ont qu'un éclat infime et sont angulairement très proches des étoiles auxquelles elles sont liées, donc littéralement noyées dans leur lumière. L'imagerie directe de telles planètes est hors de portée des télescopes actuels implantés au sol et même, du télescope spatial Hubble*.

Les principales techniques de détection indirecte se fondent sur la mise en évidence de perturbations du mouvement des étoiles, susceptibles d'être provoquées par des planètes, à partir de mesures astrométriques ou spectroscopiques, ou encore du chronométrage de signaux (radioélectriques, par exemple) issus des étoiles considérées. Ces mesures sont extrêmement délicates. Elles ont cependant permis les premières détections de planètes autour d'autres étoiles.

Une première découverte a été annoncée en janvier 1992. En chronométrant avec une grande précision (1 microseconde) les instants d'arrivée des impulsions émises par le pulsar* PSR 1217+12, situé à 1 600 années de lumière, dans la constellation de la Vierge, les astronomes américains Alex Wolszczan et Dale Frail ont pu montrer que ce pulsar s'approchait ou s'éloignait alternativement, présentant un mouvement perturbé par la présence de planètes. D'après les observations effectuées, ce pulsar doit être entouré de trois planètes. Leurs masses respectives seraient 0,015 fois, 3,4 fois et 2,8 fois celle de la Terre, et les distances qui les séparent de leur étoile 0,19 fois, 0,36 fois et 0,47 fois celle de la Terre au Soleil. Puis, en octobre 1995, à l'aide du télescope de 1,93 m de l'observatoire de Haute-Provence, les astronomes suisses Michel Mayor et Didier Queloz ont découvert la première planète extrasolaire autour d'une étoile du type du Soleil, 51 Pégase. Depuis, des planètes ont été détectées autour d'une vingtaine d'étoiles. Ce sont de grosses planètes, comparables à Jupiter, mais dont certaines gravitent très près de leur étoile ou sur des orbites très allongées, ce qui doit être expliqué par la théorie de la formation des systèmes planétaires.

planète artificielle. Engin spatial qui gravite autour du Soleil ou, le cas échéant, de toute autre étoile.

Planète vivante. Programme européen d'observation de la Terre, lancé en 1999.
ENCYCL. Comprenant des missions principales (d'un coût inférieur à 400 millions d'euros) et des missions d'opportunité (d'un coût de 80 millions d'euros environ), il sera réalisé grâce au recours à des sources de financement privées, en complément de l'investissement de l'Agence spatiale européenne. Deux missions d'opportunité ont été déjà été choisies. La première, Cryostat, est un satellite destiné à l'observation des fluctuations des glaces polaires, pour apprécier les effets du réchauffement global ; il

devrait être lancé en 2002. La seconde, SMOS (Soil Moisture and Océan Salinity), est un satellite porteur d'un radiomètre qui permettra d'obtenir à quelques jours d'intervalle des cartes mondiales de la salinité des océans, de l'humidité atmosphérique et du contenu en eau de la végétation ; son lancement est prévu vers 2004.

planétésimaux n.m.pl. Petits corps solides résultant d'une condensation localisée de matière, au sein d'une nébuleuse entourant une jeune étoile, et dont le développement ultérieur, par accrétion, conduirait à la formation de planètes.

planétoïde n.m. Terme parfois utilisé comme synonyme de petite planète.

planétologie n.f. Science qui a pour objet l'étude des planètes et, plus généralement, de tous les corps du système solaire excepté le Soleil lui-même.

planétologue n.m. Spécialiste de planétologie.

planisphère n.m. Carte représentant les deux hémisphères célestes, ou la surface d'un astre, en projection sur un plan.

planum n.m. (mot latin; pl. *plana).* Plateau ou plaine élevée, dans la nomenclature internationale du relief des surfaces planétaires.

Plaskett (John Stanley), astronome canadien (Woodstock, Ontario, 1865-Esquimalt, Colombie-Britannique, 1941).
Il fut le premier directeur de l'observatoire astrophysique Dominion* (1918). En étudiant la vitesse radiale de nombreuses étoiles, il confirma l'hypothèse de la rotation de la Galaxie (1927) et indiqua la localisation la plus probable du centre galactique. Il étudia aussi la distribution de la matière interstellaire, démontrant, comme l'avait suggéré A.S. Eddington*, que celle-ci n'est pas concentrée dans les amas stellaires mais largement répartie dans le disque galactique.

plasma n.m. Gaz dont tous les atomes sont ionisés, consistant donc en un mélange d'électrons libres et de noyaux atomiques.
ENCYCL. Presque toute la matière de l'Univers se trouve sous la forme de plasmas : l'intérieur des étoiles est un plasma dense, tandis que la couronne solaire, le vent solaire, les nébuleuses d'hydrogène ionisé, etc., sont des plasmas très ténus.
Un plasma est un milieu particulier sur lequel les champs électromagnétiques exercent une influence prépondérante.

plate-forme n.f. 1. Partie d'un engin spatial qui supporte la charge utile. 2. Petite installation terrienne, au fonctionnement automatique, chargée de collecter des données d'environnement et de les retransmettre par radio vers des satellites spécialisés.

Platon. Cratère lunaire, du type plaine* murée, en bordure de la mer des Pluies. Coordonnées : 51° N., 9° O. Diamètre : 100 km. Nom international : *Plato.*

Pléiades (les). Amas stellaire ouvert, dans la constellation du Taureau, parfois appelé aussi *la Poussinière.*
ENCYCL. À l'œil nu, on y distingue habituellement 6 étoiles, exceptionnellement de 7 à 10. Aux jumelles, on en dénombre une bonne trentaine. Avec des moyens photographiques associés à de puissants télescopes, on en a recensé plus de 3 000. Cet amas, d'un diamètre de 30 al environ, situé à 410 al, est constitué d'étoiles chaudes, très jeunes à l'échelle astronomique (leur âge est de 60 millions d'années env.) et qui apparaissent enveloppées de nébulosités (nébuleuses par réflexion) décelées visuellement pour la première fois en 1859 par l'Allemand W. Tempel. Observées dès la plus haute antiquité, les principales étoiles du groupe sont, encore aujourd'hui, désignées par des noms tirés de la mythologie grecque : Alcyone (la plus brillante, qui est l'étoile r| du Taureau), Maïa, Mérope, Electra, Taygète, Atlas, Astérope, Pléione et Celasno.

Plessetsk (ou **Plesetsk).** Cosmodrome situé dans la partie septentrionale de la Russie, à 170 km au sud d'Arkhangelsk, à 900 km de Moscou. On l'appelle aussi le « cosmodrome du Nord ». Superficie : 1 762 km^2.
ENCYCL. Si sa construction remonte à 1957, son existence - reconnue tardivement par

les Russes - n'a été révélée, fortuitement, qu'en 1966, grâce à des lycéens anglais : captant les signaux radio émis par les premiers satellites lancés de Plessetsk, ils reconstituèrent les trajectoires et conclurent que l'URSS devait posséder une base spatiale encore inconnue (... en fait déjà localisée par les États-Unis).

Longtemps Plessetsk fut le cosmodrome le plus actif au monde avec plus d'un lancement par semaine. Mais depuis la fin des années 1980, ce rythme a nettement diminué : depuis 1994, il est inférieur à vingt lancements par an.

Néanmoins, par la latitude élevée, Plessetsk reste particulièrement adapté aux lancements vers des orbites polaires ou à forte inclinaison, pour l'observation de la Terre, la surveillance militaire, la météorologie et les télécommunications (type Molnia).

Pleumeur-Bodou. Commune des Côtes-d'Armor, à 7 km au N.-O. de Lannion, 3 711 habitants, siège depuis 1962 d'un important centre de télécommunications spatiales.

ENCYCL. En juillet 1962 a été achevée la construction d'une première station terrienne (PB-1, aujourd'hui désaffectée), réplique exacte d'une autre, installée à Andover (É-U). La pièce maîtresse en est une antenne-cornet ayant une ouverture de 20 m de diamètre, haute de 29 m, longue de 54 m et pesant 340 t, fonctionnant sous un radôme constitué d'une enveloppe de Dacron enrobé de caoutchouc synthétique, perméable aux signaux radioélectriques, de 64 m de diamètre et 50 m de hauteur, pesant 27 t. Grâce à une légère surpression interne fournie par une soufflerie, cette enveloppe reste constamment tendue, quoique aucune armature ne la soutienne, et peut résister à des rafales de vent de 160 km/h.

Le 11 juillet 1962, à 0 h 47 min, la station reçut les premières images de télévision transmises au-dessus de l'Atlantique par Telstar 1, premier satellite actif de télécommunications, placé en orbite la veille par la NASA. Le 23 juillet débuta la mondovision, avec la transmission de deux programmes, l'un dans le sens Amérique-Europe, l'autre dans le sens inverse. En juin 1965, la station de Pleumeur-Bodou, jusque-là expérimentale, est entrée en exploitation commerciale avec le satellite géostationnaire Intelsat* 1 (Early Bird).

Par la suite, le développement des télécommunications spatiales a conduit à la construction d'autres stations : PB-2 (27,5 m de diamètre ; 1969), PB-3 (30 m ; 1973), PB-4 (32,5 m ; 1976), PB-5 (16,5 m ; 1974), PB-6 (32,5 m ; 1984), PB-7 (32 m ; 1985), PB-8 (13 m ; 1988), PB-9 (13 m ; 1988), PB-10 (16 m ; 1991), PB-11 (16 m ; 1992) etPB-12 (14,5 m ; 1991). La plupart de ces stations ont été conçues pour assurer des liaisons avec les satellites Intelsat.

Depuis 1978, une partie du trafic a été transférée au centre de Bercenay-en-Othe*, dans l'Aube.

PLT. Sigle de Phénomène Lunaire Transitoire.

pluie d'étoiles filantes. Synonyme de *averse météorique.*

plume (polaire). Jet fin de la couronne solaire, de grande extension radiale, observable près des pôles du Soleil au cours des éclipses totales de Soleil se produisant en dehors des périodes de maximum d'activité solaire.

Pluton. Par ailleurs, Pluton fait l'objet d'observations à l'aide du télescope spatial Hubble*. La caméra pour objets faibles de ce télescope (fournie par l'Agence spatiale européenne) a permis, pour la première fois, d'obtenir des images distinctes de la planète et de son satellite (alors que, vus de la Terre, ils forment une tache oblongue)

Pluton. Planète du système solaire, dont l'orbite se situe principalement au-delà de celle de Neptune.

ENCYCL. Au début du XXe siècle, deux astronomes américains, P. Lowell et W. Pickering, se fondant sur des anomalies constatées dans le mouvement des planètes Uranus et Neptune, suggérèrent, indépendamment, l'existence d'une planète inconnue située au-delà, dont ils indiquèrent très approximativement la position dans le ciel. Malgré des recherches intensives, cette planète ne put être identifiée. Elle fut découverte par hasard, en 1930, par un jeune assistant de l'observa-

toire Lowell, à Flagstaff (Arizona), Clyde Tombaugh, et reçut le nom de Pluton, dont les deux premières lettres se trouvent être les initiales de Percival Lowell.
Pluton reste très mal connue, tant elle est difficile à observer de la Terre en raison de sa petitesse et de son éloignement.
Avec un diamètre inférieur à 2 500 km, Pluton est la plus petite des planètes principales du système solaire. Elle ne peut donc expliquer à elle seule les perturbations constatées dans le mouvement d'Uranus et de Neptune, ce qui pose la question de l'existence éventuelle d'une planète encore plus lointaine. **planète X*.** De la composition superficielle de la planète on ne sait que peu de chose, son faible éclat rendant extrêmement difficile l'étude du spectre et de la polarisation de la lumière qu'elle réfléchit. Après la détection de méthane solide à sa surface, on a pensé que cet hydrocarbure était le principal constituant des glaces qui la recouvrent, ainsi que de l'atmosphère de la planète (très ténue mais s'étendant au moins jusqu'à 1 000 km d'altitude), décelée en 1988, lors de l'occultation d'une étoile par Pluton. Mais, en 1992, des mesures de spectroscopie infrarouge effectuées à l'observatoire au Mauna* Kea ont balayé cette hypothèse et révélé la prédominance de l'azote, sous forme de glace à la surface et sous forme de gaz dans l'atmosphère. Pluton présente de nombreuses analogies avec Triton*, le principal satellite de Neptune, dont la densité et les dimensions sont comparables. Sa température superficielle, très basse, est comprise entre - 150 X 176 °C et - 240 °C. Les modèles de structure interne envisagés prévoient l'existence, au cœur de Pluton, d'un noyau de silicates ; celui-ci serait entouré d'un large manteau de glace, d'eau et d'ammoniaque, lui-même surmonté d'une couche de dioxyde de carbone gelé située immédiatement sous la surface.
L'excentricité considérable de l'orbite de Pluton, qui vaut à la planète de pénétrer périodiquement à l'intérieur de l'orbite de Neptune (c'était le cas de 1979 à 1999), et l'inclinaison très importante de cette orbite sur l'écliptique (plus de 17°) laissent à penser que la planète ne s'est pas formée sur l'orbite qu'elle décrit actuellement. Pour cer-

CAKACTÉRISTIQUES PF1YSIQUES DE PLUTON	
diamètre équatoriai	-? 2 300 km (0,18 fois celui de la Terre)
aplatissement	?
masse par rapport à celle de la Terre	~ 0,002
densité moyenne	~ 2
accélération de la pesanteur à l'équateur	0,07 fois celle de la Terre
vitesse de libération	- 1,1 km/s
période de rotation sidérale	6 j 9 h 18 min
inclinaison de l'équateur sur l'orbite	119,6°
albédo	0,61

CARACTÉRISTIQUES ORBITALES DE PLUTON	
demi-grand axe de l'orbite	5 916 000 000 km, soit 39,544 7 ua
distance maximale au Soleil	7 400 000 000 km
distance minimale au Soleil	4 425 000 000 km
excentricité	0,249
inclinaison sur l'écliptique	17° 10'
période de révolution sidérale	248 ans 8 j
vitesse orbitale moyenne	4,74 km/s
période de révolution synodique	366,74 j
distance maximale à la Terre	7 500 000 000 km
distance minimale à la Terre	4 300 000 000 km

tains astronomes, ce serait un ancien satellite de Neptune qui prit jadis son indépendance ; pour d'autres, ce serait un résidu de la formation des planètes qui n'est jamais entré en collision avec un objet plus gros.
L'intérêt pour cette planète lointaine s'est renforcé depuis qu'on lui a découvert, en 1978, un satellite, Charon*, dont les dimensions sont importantes vis-à-vis de celles de Pluton elle-même et imposent de considérer désormais l'ensemble des deux astres comme une planète double.
Pluton reste la seule planète principale du système solaire à n'avoir été approchée par aucune sonde spatiale. La NASA envisage désormais le lancement, en décembre 2004 d'une petite sonde, Pluto/Kuiper Express, qui, après avoir bénéficié de l'assistance* gravitationnelle de Vénus et de Jupiter, survolerait le couple Pluton-Charon en 2013, puis certains petites corps de la ceinture* de Kuiper.

Poe (Edgar Allan), écrivain américain (Boston 1809-Baltimore 1849). Il a publié en 1885 *l'Aventure sans pareille d'un certain Hans Pfaal*, un conte dont le héros effectue un voyage vers la Lune à bord de la nacelle d'un ballon qu'il a construit.

pogo (effet). Phénomène vibratoire instable pouvant se manifester sur les étages à propergol liquide d'un lanceur.
ENCYCL. Il résulte d'un couplage entre les vibrations de structures et de lignes, les fluctuations de débit correspondantes et les modulations de poussée induites. En cas de résonance, il peut endommager les satellites ou même provoquer la destruction du lanceur.
Sur le lanceur Ariane, on y remédie en implantant, dans la ligne oxygène, un système correcteur qui consiste essentiellement en un petit manchon disposé autour de la tuyauterie et en communication avec celle-ci par de petits orifices, tandis que la partie supérieure renferme de l'hélium gazeux. L'ensemble de ce dispositif constitue un filtre amortisseur.
Le mot « pogo » n'est pas un sigle (bien que les États-Unis lui associent l'expression *propulsion generated oscillations) :* il est emprunté à un jouet d'enfant - *pogo stick* - constitué d'une échasse montée sur un ressort qui permet de se déplacer par petits bonds successifs et dont le principe présente une certaine analogie avec le phénomène évoqué : dans un cas comme dans l'autre, un système vibratoire (le jouet ou les structures du lanceur) est excité par une force variable (celle du sauteur ou de la poussée des moteurs) avec possibilité de résonance.

poids n.m. Force attractive exercée par un astre sur les corps matériels en raison de la pesanteur.
ENCYCL. Le poids est donné par la relation : $P = m\vec{g}$, où m désigne la masse du corps considéré et $\vec{g}$ l'accélération de la pesanteur au lieu considéré. Il s'exprime en newtons (symb. : N).
Le poids d'un objet donné varie avec :
- la distance au centre de l'astre attracteur (le poids est inversement proportionnel au carré de cette distance),
- la masse de l'astre attracteur (le poids est proportionnel à cette masse).

DISTINCTION ENTRE MASSE ET POIDS. La masse d'un objet correspond à la quantité de matière qu'il renferme. C'est une constante indépendante du lieu : elle caractérise l'objet et s'exprime en kilogrammes.
Le poids de cet objet correspond à l'attraction qu'un astre - par exemple la Terre - exerce sur sa masse. Il dépend du lieu considéré.
Soit un livre dont la masse est 2 kg (elle a la même valeur en tout point de l'Univers, du moins tant qu'on n'arrache aucune des pages de ce livre). Son poids est de 19,62 N à Paris, au niveau du sol, d'environ 19,61 N au sommet du mont Blanc, de 19,66 N au pôle Nord, de 7,4 N, sur la planète Mars et de 3,2 N sur la Lune. En impesanteur, par exemple dans un vaisseau spatial en orbite terrestre, son poids serait nul (mais sa masse serait toujours égale à 2 kg).

Poisson austral (en latin *Piscis Austrinus*, -i). Constellation australe, à l'ouest du Sculpteur et au sud du Verseau et du Capricorne.
ENCYCL. Les Grecs de l'Antiquité y voyaient un poisson sur le dos buvant le filet d'eau que laisse couler le Verseau. Son étoile la plus brillante est Fomalhaut*. L'une des eu-

riosités de la constellation est l'étoile Lacaille 9352, de magnitude 7,5, remarquable par l'amplitude de son mouvement propre (6,9" par an) : c'est une naine rouge, située à 12 années de lumière du système solaire, dont elle s'éloigne à une vitesse de 10 km/s.

Poisson volant (en latin *Volans, -antis).* Petite constellation australe, entre l'étoile P de la Carène et le Grand Nuage* de Magellan, introduite par J. Bayer en 1603 dans son *Uranometria.* Elle ne renferme que des étoiles de faible éclat, dont les plus brillantes ont une magnitude apparente de 4 environ.

Poissons (en latin *Pisces, -ium).* Constellation zodiacale, entre le Bélier (à l'est) et le Verseau (au sud-ouest).
ENCYCL. Les Anciens y voyaient la silhouette de deux poissons attachés par la queue à l'aide d'un ruban. Elle ne renferme que des étoiles de faible éclat, dont les plus brillantes ont une magnitude apparente voisine de 4. L'une des curiosités de la constellation, à 2° au sud de 5 *Psc,* est l'étoile du Van Maanen, de magnitude 12, une naine blanche dotée d'un mouvement propre important (3" par an). C'est aussi dans cette constellation que se situe, de nos jours, le point vernal*.

Polaire (la) ou **l'étoile Polaire.** Étoile a de la Petite Ourse, située actuellement à moins de 1° du pôle céleste boréal, et qui constitue, de ce fait, un repère commode pour trouver la direction du nord.
ENCYCL. C'est une étoile géante, 8 fois plus massive et 1 600 fois plus lumineuse que le Soleil, située à quelque 400 années de lumière de distance. Elle présente les caractéristiques d'une céphéide* de faible amplitude, dont la magnitude apparente varie entre 2,1 et 2,2 suivant une période de 3,97 j, et dont le type spectral varie selon le même rythme entre F7 et F8 (ce qui indique une température superficielle moyenne de 6 300 K). Curieusement, cependant, l'amplitude de ses variations d'éclat n'a cessé de décroître depuis le début du siècle, à un rythme qui s'est accéléré depuis 1940 environ : alors qu'elle dépassait 0,1 magnitude à l'origine, elle n'était plus que de 0,05 magnitude en 1983, de 0,01 magnitude en 1992, et elle est devenue quasiment nulle en 1994. La cause de ce phénomène reste, pour l'instant, mal comprise.
Par suite du mouvement de précession* de l'axe de rotation de la Terre, cette étoile va se rapprocher encore du pôle céleste Nord jusqu'en 2102, époque à laquelle elle n'en sera plus distante que de 27° 30' (moins du diamètre apparent de la pleine lune), puis elle s'en écartera progressivement. Vers l'an 7600, la nouvelle étoile Polaire sera Alderamin*, puis, vers 14000, ce sera Véga*.

polaire adj. Se dit d'un engin spatial et de son orbite lorsque celle-ci passe au-dessus de la région des pôles géographiques de l'astre attracteur. Dans ce cas, l'inclinaison de l'orbite sur le plan équatoriai de l'astre est proche de *90°.*

polarimètre n.m. Instrument destiné à mesurer la rotation que subit le plan de polarisation de la lumière à la traversée de certaines substances.
ENCYCL. La lumière diffusée par de fines particules subit une polarisation partielle. L'étude de la polarisation de la lumière réfléchie par la surface d'une planète, sous différents éclairements, fournit des indications précieuses sur la composition de cette surface. Aussi certaines sondes spatiales emportent-elles des polarimètres parmi leurs instruments scientifiques.

polarisation n.f. Phénomène affectant une onde électromagnétique, en particulier la lumière, dont le vecteur caractéristique garde une direction fixe ou se distribue selon une loi déterminée.
ENCYCL. La lumière peut être considérée comme une onde électromagnétique caractérisée dans un milieu isotrope par deux vecteurs orthogonaux : un champ électrique et un champ magnétique. Les récepteurs usuels (œil, émulsion photographique, cellule photoélectrique...) étant sensibles au seul vecteur champ électrique, on considère celui-ci comme vecteur caractéristique de l'onde. Les sources habituelles émettent des trains d'ondes successifs dont le vecteur champ électrique change d'orientation de manière rapide et aléatoire. La lumière présente alors une symétrie de révolution autour de sa direction de propagation : on

dit qu'elle est *naturelle* ou *non polarisée.* Mais, dans certains cas, la vibration lumineuse est orientée dans une direction fixe privilégiée du plan perpendiculaire à sa direction de propagation : on dit alors que la lumière est polarisée rectilignement. Ou bien la vibration, dans le plan perpendiculaire à la direction de propagation, s'effectue selon un cercle ou une ellipse : on dit alors, selon le cas, que la lumière possède une polarisation circulaire ou elliptique.

Certains processus d'émission produisent une lumière entièrement polarisée, tandis que la diffusion par de fines particules peut entraîner une polarisation partielle du rayonnement. C'est ainsi que la lumière interagissant avec la poussière interstellaire est partiellement polarisée. Il en est de même de la lumière solaire réfléchie par les surfaces planétaires. Le pourcentage de lumière polarisée, ou taux de polarisation, est lié à la nature et aux dimensions des particules diffusantes et varie avec l'angle de phase*.

Polder (acronyme de l'angl. *POLarization and Directionality of Earth Réflectances,* polarisation et directivité des réflectances de la Terre), instrument français d'observation de la Terre intégré dans la charge utile du satellite japonais Adeos* 1, lancé en 1996. Il a fonctionné jusqu'au 30 juin 1997, date de la panne du satellite, et produit huit mois de données.

ENCYCL. Polder est le premier instrument spatial capable de mesurer en lumière polarisée et d'observer dans de multiples directions ce qui permet de mieux connaître les propriétés au rayonnement solaire réfléchi par la Terre et l'atmosphère. Chacune des images prises par sa caméra couvre une surface au sol de 1 800 km sur 2 400 km, avec une résolution de 6 km sur 7 km. Un deuxième instrument sera embarqué sur Adeos 2, en 2000.

pôle (céleste) n.m. Chacun des deux points d'intersection de la sphère céleste et de l'axe du monde.

ENCYCL. L'équateur céleste étant orienté dans le sens de la rotation de la Terre, le pôle Nord, ou boréal, est celui des deux pôles célestes d'où l'on voit le sens d'orientation coïncider avec le sens inverse de celui des aiguilles d'une montre ; le pôle Sud, ou austral, est le pôle opposé.

pôle n.m. Chacun des deux points de la surface d'un astre situé sur l'axe de rotation de cet astre.

polhodie n.f. (du grec *polos,* pivot, et *hodos,* voie, route). Trajectoire observée du pôle terrestre Nord dans un repère lié à la Terre.

ENCYCL. Cette trajectoire, complexe, comprend trois composantes :
- une sorte d'ellipse annuelle, dont le grand axe est dirigé selon le méridien de Greenwich ;
- une oscillation liée à l'élasticité de la Terre, avec une période de 427 j (période de Chandler) ;
- une dérive lente dans la direction perpendiculaire au méridien de Greenwich (vers le Canada), qui ne serait pas réelle mais refléterait seulement des changements de latitude moyenne des stations d'observation.

Poliakov (Valeri), médecin et cosmonaute russe (Toula 1942).

Il a effectué deux séjours de longue durée à bord de la station Mir*, l'un de huit mois (31 août 1988-27 avril 1989), l'autre de plus de quatorze (10 janvier 1994-22 mars 1995). À l'issue de sa deuxième mission spatiale, il est devenu le nouveau détenteur du record de temps de présence dans l'espace, en un seul vol (437 j 18 h) et en durée cumulée (678 j 16 h).

polissage n.m. Phase finale de la taille d'un miroir de télescope, qui succède au doucissage et qui a pour but de donner un fini de surface élevé, ne laissant subsister aucune diffusion perceptible de la lumière. Cette opération doit en outre produire une surface géométrique *qui* s'écarte le moins possible de la surface théorique désirée.

pollution spatiale. Prolifération de débris* spatiaux autour de la Terre.

ENCYCL. Les débris spatiaux représentent, à mesure qu'augmente leur nombre, un danger croissant pour les engins placés en orbite autour de la Terre et leur éventuel équipage. Le 16 septembre 1991, pour la première fois

au cours d'un vol spatial, des astronautes ont dû modifier la trajectoire de leur vaisseau, afin de respecter une règle de vol de la NASA qui exige une marge de sécurité de cinq kilomètres à l'avant de la navette et de deux kilomètres de chaque côté. Sans cette correction, l'orbiteur *Discovery* serait passé à 350 m seulement d'un gros débris de fusée russe. Pour réduire la pollution spatiale, la NASA envisage de lancer des satellites récupérateurs de déchets ou d'utiliser des lasers orbitaux pour vaporiser les gros débris en particules moins dangereuses.

Pollux (alias **D5 A).** Satellite français mis sur orbite le 17 mai 1975 (en même temps que Castor) pour une mission technologique.
ENCYCL. Sa mission consistait à étudier, en ambiance spatiale, le fonctionnement d'un petit moteur-fusée développé par la SEP, un micropropulseur à décomposition catalytique d'hydrazine, susceptible ultérieurement d'équiper d'autres satellites pour les corrections d'attitude et d'orbite.
Bien que rentré prématurément dans l'atmosphère, le 5 août 1975 (alors qu'on lui prévoyait une durée de vie de sept mois), il a transmis d'intéressants résultats concernant environ 3 000 poussées. Un premier modèle de vol n'avait pu être satellisé le 21 mai 1973.

Pollux. Étoile |3 des Gémeaux. Magnitude apparente visuelle : 1,2. Type spectral : KO. Distance : 34 années de lumière. Elle est 1 000 fois plus volumineuse et 35 fois plus lumineuse que le Soleil.

ponctuel, elle adj. Se dit d'une source céleste de rayonnement électromagnétique de très faible diamètre apparent et qui peut donc être assimilée à un point. Les étoiles sont des sources ponctuelles.

Pons (Jean-Louis), astronome français (Peyre, Dauphiné, 1761-Florence 1831).
D'origine modeste, il entra comme concierge à l'observatoire de Marseille en 1789. Les leçons que lui donnèrent les directeurs successifs de l'établissement lui permirent de s'initier à l'astronomie. Il entreprit alors la construction d'instruments grâce auxquels il se mit à observer le ciel, et il se spécialisa dans la recherche des comètes : de 1801 à 1827, il n'en découvrit pas moins de 37, méritant ainsi le surnom d'« aimant des comètes ».

population stellaire. Ensemble des étoiles d'une galaxie qui possèdent certaines propriétés intrinsèques communes (âge, composition chimique, etc.).
ENCYCL. La notion de population stellaire a été introduite en 1944 par l'Américain W. Baade. Suivant leur stade d'évolution, les étoiles se partagent en deux populations qui se différencient par leur composition chimique :
- les étoiles de population I comprennent les étoiles plus récemment formées ; leur composition chimique est proche de celle de la matière interstellaire où elles sont apparues ; elles sont donc relativement riches en éléments lourds qui proviennent de l'explosion des étoiles plus vieilles arrivées au terme de leur évolution ; elles se concentrent dans le disque et les bras galactiques ;
- les étoiles de population II sont, au contraire, des étoiles vieilles relativement pauvres en ces éléments lourds ; leur composition chimique est celle de la matière interstellaire originelle. Ces étoiles sont caractéristiques des amas globulaires.

La classification en deux types de population est schématique, des anomalies d'abondance existant pour des étoiles de la même population. En 1974, cette notion a été étendue, en postulant l'existence d'une nouvelle classe d'étoiles, dites de population III, très âgées et dépourvues d'éléments métalliques. Celles-ci, naines, très peu lumineuses et de couleur rouge, pourraient constituer un halo massif autour des galaxies. La présence d'un tel halo permettrait d'expliquer, en particulier, la stabilité des disques des galaxies spirales.

pore n.m. Petite tache solaire souvent éphémère, qui se compose généralement d'une ombre sans pénombre.
ENCYCL. Les pores apparaissent dans les observations photosphériques de granulation solaire, soit près des grosses taches dans les groupes, soit isolés dans des régions apparemment calmes. Leur durée de vie peut

aller de quelques minutes à quelques heures.

port spatial. Synonyme de *base de lancement.*

Portia. Satellite d'Uranus (n° XII), découvert en 1986 par la sonde américaine Voyager 2. Demi-grand axe de son orbite : 66 100 km. Période de révolution sidérale : 12 h 19 min. Diamètre : environ 80 km.

positionnement n.m. Dans les techniques de navigation par satellites, synonyme de localisation.

Poulkovo (observatoire de). Observatoire de l'Académie des sciences de Russie, près de "Saint Pétersbourg.
ENCYCL. Fondé en 1835 à l'initiative de F.G.W. Struve*, qui en fut le premier directeur, il est entré en service en 1839. Détruit pendant la Seconde Guerre mondiale, il a été reconstruit à l'identique. Son activité concerne principalement l'astrométrie et le développement de l'instrumentation astronomique.

Poupe (en latin *Puypis, -is).* Constellation australe issue de la subdivision de l'ancienne constellation du Navire Argo, dont elle constitue la partie septentrionale, à l'est et au sud du Grand Chien.
ENCYCL. Son étoile la plus brillante, Ç *Puppis,* a une magnitude apparente de 2,2 mais est intrinsèquement très lumineuse et contribue à éclairer la nébuleuse de Gum*. Cette constellation renferme de nombreux amas stellaires ouverts, en particulier M 46 et M 47, aisément discernables avec des jumelles, à 13° environ à l'ouest de Sirius.

poursuite n.f. Détermination, depuis le sol, de divers paramètres relatifs au mouvement d'un véhicule spatial (trajectoire d'un lanceur, paramètres orbitaux d'un satellite, etc.). Chaque puissance spatiale dispose à cet effet de moyens appropriés (réseau de stations, éventuellement navires, etc.) dont les données sont regroupées et exploitées dans un centre de contrôle.

poussée n.f. Force créée par un moteur-fusée.
ENCYCL. Elle résulte de l'éjection par la tuyère d'une certaine masse de gaz à vitesse élevée. Sa valeur maximale est donnée par la relation : F = q-Vc, avec q, débit de masse éjectée et V_c, vitesse d'éjection.
Elle s'exprime en newtons (symb. : N), éventuellement en kilonewtons (1 kN = 1 000 N) ou en décanewtons (1 daN = 10 N), cette dernière unité étant assez commode puisqu'elle est très proche - l'écart est de 2 % - du kilogramme-force (kgf) dont l'emploi (comme celui de la tonne-force) est aujourd'hui déconseillé.

poussière n.f. Composant solide de la matière interplanétaire ou interstellaire*.

Poussinière (la). Nom français parfois donné à l'amas stellaire des Pléiades*.

PQ. Abréviation de premier quartier (de la Lune).

Praesepe. Amas stellaire ouvert, dans la constellation du Cancer, entre les étoiles *y* et 5 *Cnc,* appelé aussi *la Crèche* ou *la Ruche.*
ENCYCL. Perceptible à l'œil nu comme une lueur diffuse de magnitude 4 environ, il peut être aisément résolu en étoiles avec des jumelles ou une petite lunette. Il figure dans le catalogue de Messier sous le n° 44 (d'où sa désignation habituelle M 44). Galilée y distingua 36 étoiles, mais, avec des instruments plus puissants et l'aide de la photographie, on en a identifié, au total, environ 500, de magnitudes comprises entre 6 et 17. Cet amas tend à se disperser ; son centre dynamique est situé à 577 années de lumière et se déplace à une vitesse de 27 km/s vers un point du ciel situé entre Sirius et Bételgeuse.

précession n.f. Mouvement conique décrit autour d'une direction fixe par l'axe de rotation d'un corps animé d'un mouvement de rotation ; en particulier, mouvement conique très lent, effectué par l'axe de rotation terrestre autour d'une position moyenne correspondant à une direction normale au plan de l'écliptique.
ENCYCL. La Terre n'étant pas une sphère homogène, les forces exercées par le Soleil et la Lune sur le bourrelet équatorial terrestre font que l'axe de rotation de la Terre n'a pas

une direction fixe dans l'espace. Il en résulte que le nœud ascendant de l'écliptique dans l'équateur, appelé *point vernal* ou *point* y, n'est pas fixe sur l'écliptique et que l'angle que fait l'équateur avec l'écliptique n'est pas constant. Il y a, dans l'ensemble, rétrogradation continue de la ligne équinoxiale, ce qui correspond à une avance de l'instant de l'équinoxe de printemps, appelée *précession des équinoxes.*

En fait, on ne désigne sous ce nom que la partie uniforme du mouvement complexe de précession. La partie périodique porte le nom de *nutation* en longitude,* qui est à mettre en parallèle avec le phénomène de *nutation en obliquité.* La précession annuelle vaut environ 50,39". On l'appelle *précession lunisolaire.*

Mais il y a lieu de tenir compte, également, du fait que l'ensemble des perturbations planétaires modifie la position, dans l'espace, du plan de l'écliptique d'un petit angle de 0,47" par an, qui a pour effet, dans la position actuelle des orbites, de faire avancer le point y de 0,10" par an environ. Ce petit mouvement est dit de *précession planétaire.*

La précession générale est la somme algébrique de ces deux mouvements.

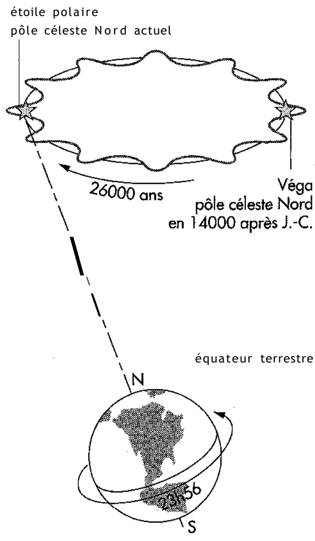
Sa valeur annuelle actuellement admise constitue la précession générale en longitude, qui est une des constantes* primaires de l'astronomie. Sa valeur est, pour l'époque 2000, 5 029,096 6" par siècle julien.

Du fait de la précession des équinoxes, l'intervalle de temps qui s'écoule entre deux passages du Soleil par l'équinoxe de printemps (année tropique) est moindre que le temps nécessaire pour que la longitude écliptique du Soleil, comptée à partir d'un point fixe, s'accroisse de 360° (année sidérale).

C'est Hipparque, au IIe s. av. J.-C., qui découvrit la précession des équinoxes en comparant ses observations à celles de Timocharis et d'Aristille, antérieures d'un siècle et demi environ. Ces mesures furent reprises par Bradley, entre 1742 et 1762, à Greenwich, et par La Caille, entre 1746 et 1762, à Paris et au Cap. Enfin, Newton trouva l'explication du phénomène par l'action du Soleil et de la Lune sur le renflement équatoriai de la Terre.

Par suite de la précession des équinoxes, il y

Précession des équinoxes et **nutation**



a, depuis Hipparque, un décalage de l'ordre de 28° sur la position dans laquelle se trouve le point y par rapport aux constellations, soit, à peu de chose près, un signe du zodiaque*, ce qui a créé un décalage d'une unité entre les constellations zodiacales et les signes correspondants.

pression de rayonnement. Pression exercée par un rayonnement électromagnétique sur une surface réfléchissante ou absorbante placée sur son trajet, SYN : *pression de radiation.*

ENCYCL. La pression de rayonnement s'explique en considérant le rayonnement comme formé de photons possédant une quantité de mouvement, dont une partie est transférée lors de la rencontre avec la surface, qui subit ainsi une force de pression. La pression de rayonnement solaire produit une force perturbatrice susceptible d'affecter l'orbite d'un satellite selon sa géométrie. Souvent négligeable, elle peut affecter de façon sensible le mouvement de satellites géostationnaires dotés de panneaux solaires de très grande surface. Elle produit aussi des effets observables sur la marche des comètes* passant au voisinage du Soleil. C'est elle qui assure la stabilité des étoiles* de la série

principale du diagramme de Hertzprung Russell.

pressurisation, ni. Production et maintien d'une pression déterminée dans une enceinte (cabine spatiale ou réservoirs d'ergols, par exemple).

Priroda (en russe, nature). Module dédié à la télédétection, destiné à accroître le volume utile et la capacité de recherche de la station orbitale russe Mir*.
Pesant 20 t, mesurant 13 m de long, il a été lancé le 23 avril 1996. Ce fut le dernier module raccordé à cette station.

prisme n.m. Solide en forme de prisme à section triangulaire, constitué d'une matière transparente à la lumière (verre, quartz), qui sert à dévier, à réfléchir, à polariser ou à décomposer la lumière. En spectroscopie et en spectrographie, on l'utilise pour décomposer la lumière d'une source en radiations de diverses longueurs d'onde, c'est-à-dire produire son spectre*.

prisme-objectif n.m. Système optique constitué d'un objectif astronomique réfracteur précédé d'un prisme dispersif et qui permet d'obtenir dans le plan focal un spectre de chacune des étoiles du champ.

Procyon (du grec *pro [tou] kunos,* avant le chien, parce que son lever précède celui de Sirius, la brillante étoile du Grand Chien). Étoile a du Petit Chien, la huitième des plus brillantes du ciel. Magnitude apparente visuelle : 0,4. Type spectral : F5. Distance : 11,4 années de lumière. Masse : 1,8 fois celle du Soleil. Rayon : 2,1 fois celui du Soleil. Luminosité : 6 fois celle du Soleil.
ENCYCL. Procyon possède un mouvement propre important, son déplacement angulaire annuel dans le ciel atteignant 1,25". C'est une étoile double visuelle, dont le compagnon, suspecté dès 1840 par Bessel mais décelé en 1896, est une naine blanche de magnitude 11 et de masse égale à 0,7 fois celle du Soleil. Les deux composantes tournent autour de leur centre de gravité commun en 40 ans.

profil d'une raie spectrale. Distribution de l'intensité d'une source électromagnétique dans l'intervalle de longueurs d'onde ou de fréquences occupé par une raie spectrale, en fonction de cette longueur d'onde ou fréquence.

Prognoz (mot russe signifiant *prévision).* Satellites scientifiques soviétiques utilisés pour des études de géophysique externe à partir d'orbites à apogée élevé (en général 200 000 km). Dix exemplaires ont été lancés entre 1972 et 1985.

programme (spatial). Ensemble d'activités combinant des moyens humains, matériels et financiers qui permet d'atteindre des objectifs techniques, scientifiques ou d'application par la mise en œuvre de techniques spatiales.

Programme international géosphère-biosphère (PIGB). Programme scientifique pluridisciplinaire décidé en 1986 par le Conseil international des unions scientifiques (CIUS) et lancé effectivement en 1990, dont le principal objectif est de « décrire et comprendre les processus physiques, chimiques et biologiques interactifs qui régissent l'ensemble du système terrestre et les conditions favorables exceptionnelles qu'il offre à la vie, les changements qui interviennent à l'intérieur de ce système et la façon dont ils sont influencés par l'activité humaine ».
ENCYCL. Les recherches effectuées dans le cadre de ce programme portent notamment sur les interactions entre la biosphère terrestre et la chimie de l'atmosphère ; les interactions entre la biosphère marine et l'atmosphère ; les aspects biologiques du cycle hydrologique ; l'incidence des changements climatiques sur les écosystèmes terrestres ; et l'intégration des différentes composantes du système terrestre dans un modèle numérique autorisant une prévision à long terme. Ces recherches s'appuient sur un Système d'information et de données *(Data Information System)* mis à la disposition de la communauté scientifique et sur des centres de *recherche* régionaux, implantés dans des écosystèmes caractéristiques, en particulier dans les pays en voie de développement.

Progress (mot russe signifiant *progrès)*. Vaisseau spatial automatique russe servant au ravitaillement des stations orbitales (ergols, matériel divers, produits alimentaires, eau, objets personnels des cosmonautes...) et, au retour, pour l'évacuation de leurs déchets.

ENCYCL. Plus de 80 exemplaires ont été lancés entre 1978 et 1998. Depuis l'été 1990, les Progress sont en mesure d'éjecter une capsule récupérable (Radouga*) alors que les modèles précédents brûlaient totalement en rentrant dans l'atmosphère. La structure du Progress est analogue à celle du vaisseau habité Soyouz. Masse au décollage : 7,3 t (dont un tiers de charge utile).

projet (spatial) Ensemble des activités d'études et de réalisation d'un système spatial, menées dans le cadre d'un programme. Un projet spatial comprend plusieurs phases*.

Pronaos (acronyme de PROgramme National d'AstrOnomie Submillimétrique). Programme français de recherche astronomique par ballon stratosphérique mettant en œuvre une nacelle stabilisée porteuse d'un télescope observateur dans le domaine des ondes submillimétriques.

ENCYCL. Le télescope, de type Cassegrain, est doté d'un miroir primaire de 2 m de diamètre en fibre de carbone, composé de six pétales identiques et pesant 248 kg. La position de chaque pétale est asservie par ordinateur pour garder une qualité optique optimale pendant le vol. Cette nouvelle technologie sera utilisée sur le miroir du futur satellite européen FIRST*. Le détecteur peut être doté en alternance de deux instruments : un spectromètre photométrique multibande, opérant dans quatre bandes spectrales entre 180 m et 1 200 pm de longueur d'onde, ou un spectromètre hétérodyne destiné à l'observation simultanée des raies spectrales de l'eau et de l'oxygène moléculaire. Plusieurs vols (à plus de 30 km d'altitude) sont prévus, en mai ou septembre (lorsque les vents s'inversent) ; le premier, en septembre 1994, n'a pas permis d'obtenir tous les résultats escomptés par suite de difficultés survenues dans le pointage du télescope ; un deuxième vol, en septembre 1996, a permis une trentaine d'heures d'observations.

propergol n.m. Produit composé d'un ou de plusieurs ergols* et capable, par réaction chimique, de fournir l'énergie de propulsion d'un moteur-fusée.

ENCYCL. Selon le nombre d'ergols utilisés, on distingue les monergols (un seul ergol ; l'hydrazine, décomposable catalytiquement, en est l'exemple le plus courant) ; les diergols ou biergols (deux ergols liquides ; ils constituent le type le plus fréquent) ; et les triergols (trois ergols ; ils sont d'un emploi assez rare).

Un propergol peut se présenter sous forme solide (homogène ou composite), liquide, gazeuse ou hybride (un ergol solide et un ergol liquide, le propergol correspondant étant alors appelé aussi lithergol). Selon son aptitude au stockage, il est dit stockable ou cryotechnique.

Un propergol dont les ergols s'enflamment spontanément dès qu'ils entrent en contact est dit hypergolique. Le couple peroxyde d'azote-UDMH est de ce type : c'est un hypergol. Cette particularité permet de se dispenser d'un système d'allumage alors que celui-ci reste nécessaire pour les autres propergols, par exemple pour le couple hydrogène-oxygène liquides.

prophylactorium n.m. Bâtiment de la Cité* des étoiles dans lequel les cosmonautes achèvent leur préparation à un vol spatial, au calme et sous surveillance médicale accrue (quarantaine). Leur mission terminée, ils y reviennent pour la période de réhabilitation, d'une durée de une à trois semaines selon le temps passé dans l'espace; afin de retrouver leur condition physique antérieure.

propulseur n.m. Moteur utilisé pour accélérer un véhicule spatial. De nombreux lanceurs modernes sont flanqués de propulseurs d'appoint [ou auxiliaires], à liquides ou à poudre, qui leur donnent un supplément de poussée au décollage.

propulsion n.f. Mise en mouvement d'un objet par production d'une force appelée poussée.

ENCYCL. Pour lancer des engins dans l'espace, ou pour leur permettre de manœuvrer dans ce milieu dépourvu d'oxygène, il est nécessaire de recourir à des moyens de propulsion particuliers.

LA PROPULSION PAR RÉACTION. En astronautique, la propulsion des véhicules spatiaux est obtenue par réaction. Connu et mis en pratique depuis très longtemps (invention de l'éolipile par Héron d'Alexandrie au Ier siècle de notre ère, utilisation - au Moyen Âge - de feux d'artifice et de fusées de guerre), ce mode de propulsion n'est interprété sur le plan théorique qu'à la fin du xvif siècle, lorsque Newton énonce le principe de l'action et de la réaction qui repose sur une loi naturelle, dite de la conservation de la quantité de mouvement.

Deux siècles plus tard, le Russe Tsiolkovski - auteur de *l'Espace libre* (1883) - semble être le premier à songer à la propulsion par réaction pour les voyages dans l'espace cosmique. Les premiers moteurs-fusées expérimentaux sont construits au début du xxe siècle.

Le moteur-fusée constitue un système autonome : il emporte les substances (appelées ergols) nécessaires à son alimentation. Puisqu'il ne prend appui sur aucun support, il est capable de fonctionner dans l'atmosphère comme dans le vide (où son rendement est même accru).

Son déplacement repose sur l'éjection, en sens opposé, de matière à l'état gazeux. Là réside l'explication du mouvement des lanceurs spatiaux mais aussi des manœuvres réalisées sur orbite par les satellites artificiels et les stations spatiales.

PROPULSION DES LANCEURS. On peut s'étonner qu'il soit possible de soulever un lanceur de plusieurs centaines de tonnes au moyen de moteurs-n'éjectant que quelques centaines de kilogrammes de gaz par seconde (par exemple 275 kg/s pour chaque moteur Viking 5 d'Ariane 4).

C'est oublier que dans la propulsion par réaction le paramètre à prendre en considération est la quantité de mouvement, ce qu'on appelle la poussée (égale au produit de la masse de gaz éjectée chaque seconde par la vitesse d'éjection). Dans le cas du Viking 5, cette vitesse est de 2 500 m/s, ce qui lui donne une poussée de 680 kN au sol. Ce moteur est donc capable de soulever plus de... 250 fois la masse d'ergols qu'il consomme chaque seconde.

À l'heure actuelle, les systèmes propulsifs de la plupart des véhicules spatiaux utilisent une énergie d'origine chimique. La classification traditionnelle prend en compte l'état physique du propergol : liquide ou solide.

- Les propergols liquides sont les plus largement employés aujourd'hui. Ils se composent généralement de deux ergols (un comburant et un combustible) stockés dans des réservoirs distincts. Leurs principaux avantages tiennent à leur impulsion spécifique élevée, à leur souplesse d'utilisation (possibilité de moduler la poussée, d'éteindre et de rallumer le moteur) et à leur aptitude à un fonctionnement prolongé.
- Les propergols solides, dits à poudre (bien qu'ils aient davantage l'aspect d'une pâte caoutchouteuse que d'une substance pulvérulente), sont moins énergiques et souvent plus chers que les précédents. Par contre, leur stockage est plus aisé et leurs moteurs sont moins complexes. Mais ils ne sont pas rallumables : une fois amorcée, leur combustion se poursuit jusqu'à l'épuisement du propergol. Pour toutes ces raisons, on les réserve généralement à des fonctions particulières : propulseurs d'appoint ou auxiliaires, étages supérieurs de certains lanceurs, moteurs d'apogée.

PROPULSION DES SATELLITES. La plupart des satellites (ceux utilisés pour les télécommunications ou l'observation de la Terre mais aussi les sondes et les stations spatiales) possèdent un système de propulsion.

Son rôle n'est nullement de contribuer au déplacement du véhicule (assuré, de façon naturelle, par le phénomène de gravitation) mais de permettre :

- les manœuvres importantes de changement d'orbite (par exemple, pour les satellites géostationnaires, le passage de l'orbite de transfert à l'orbite définitive au moyen du moteur d'apogée),
- les manœuvres plus fines de maintien ou de modification des paramètres orbitaux (commande d'orbite) ou de l'orientation du véhicule (commande d'attitude).

Les systèmes propulsifs servant à ces diverses fonctions brûlent des ergols qui sont liquides ou solides dans le cas des moteurs

d'apogée (leur poussée peut atteindre quelques milliers de newtons), mais toujours liquides - puisqu'ils doivent être rallumés des milliers de fois - pour les petits moteurs du système de commande d'attitude et d'orbite (leur poussée est souvent comprise entre quelques newtons et quelques dizaines de newtons).

PROPULSION DES STATIONS SPATIALES. Comme tout satellite artificiel de la Terre en orbite basse, une station spatiale est freinée par l'atmosphère et, par conséquent, se rapproche sans cesse du sol. En absence de toute manœuvre correctrice, elle serait condamnée à rentrer, et être détruite, dans les couches atmosphériques denses en quelques mois ou quelques années. C'est ainsi que la première station américaine, Skylab, pourtant satellisée vers 430 km d'altitude, ne s'est maintenue que six ans sur orbite. Pour accroître la durée de vie d'une station, il est indispensable de compenser cette perte d'altitude au moyen d'un système de propulsion, déclenché à intervalles plus ou moins réguliers. La station russe Mir, lancée en 1986, est « remontée » de cette manière en moyenne toutes les six ou huit semaines (grâce au propergol apporté par les cargos Progress).

Pour la future Station* spatiale internationale, qui sera satellisée vers 445 km d'altitude, il est prévu de procéder environ quatre fois par an à de telles manœuvres et de veiller à ce qu'elle ne descende pas au-dessous d'un niveau plancher (fixé à 335 km), altitude retenue pour les rendez-vous avec la navette spatiale (pour le ravitaillement et la rotation des équipages).

PROPULSIONS FUTURISTES. Longtemps encore, la propulsion des engins spatiaux restera d'origine chimique. Pourtant, d'autres procédés ont été imaginés depuis de nombreuses années. Ils n'ont connu que peu de réalisations concrètes, principalement en raison de difficultés technologiques ou de l'absence de performances.

Pour les lanceurs, le moteur combiné semble le plus prometteur. Il s'agit d'un système de propulsion associant, simultanément ou successivement, un moteur aérobie (consommant l'oxygène de l'air) pour le vol atmosphérique à un moteur-fusée pour le vol dans le vide.

Plusieurs avant-projets de système de transport spatial sont à l'étude en Europe (Hotol*, Sànger*) et aux États-Unis (Orient-Express, NASP). Ils concernent un véhicule réutilisable, mono- ou biétage, à décollage et atterrissage horizontaux.

Par ailleurs, la propulsion nucléaire pourrait convenir aux longs voyages interplanétaires, par exemple entre la Terre et Mars. Telle était la finalité du programme américain NERVA, aujourd'hui abandonné. Ce mode de propulsion, qu'on appelle également la *propulsion nucléothermique,* consiste en l'utilisation d'un réacteur nucléaire à fission pour chauffer un fluide léger, par exemple de l'hydrogène, lequel est ensuite accéléré dans une tuyère.

Pour les satellites, deux procédés principaux peuvent être envisagés. Les faibles poussées obtenues, inférieures au newton, limitent les applications :

- la propulsion électrique repose sur l'utilisation de l'énergie électrique pour accélérer le fluide propulsif. Les générateurs de poussée se rangent en trois catégories - les propulseurs électrothermiques, les propulseurs ioniques, les propulseurs plasmiques - selon que le fluide est un gaz, un flux d'ions ou un plasma globalement neutre.

Ce type de propulsion connaît quelques applications pour la stabilisation des satellites et des sondes spatiales ;

- la propulsion photonique tire parti de la poussée que les photons de la lumière peuvent exercer sur de grandes surfaces légères. Susceptible de convenir aux missions lointaines des sondes spatiales, elle est à la base du concept de voile* solaire.

Prospace. Groupement d'intérêt économique créé en juillet 1974 à l'initiative du CNES et d'une quarantaine de sociétés industrielles françaises dans le but de promouvoir les produits et les services du secteur spatial français à l'étranger.

SIÈGE : 2, place Maurice-Quentin, 75039 Paris Cedex 01.

protection thermique. Revêtement utilisé sur un véhicule spatial pour maintenir sa température interne dans une gamme de valeurs compatibles avec son fonctionnement.

ENCYCL. Sur un satellite artificiel ou une sonde

spatiale, la protection thermique consiste souvent en un revêtement de couleur jaune-orangé, rappelant le papier qui enveloppe le chocolat. Il s'agit d'une couverture de superisolation constituée d'une dizaine de feuilles très minces de matériaux plastiques (le Kapton et le Mylar), aluminisées. Utilisé conjointement avec d'autres dispositifs (peintures absorbantes ou réfléchissantes, surfaces radiatives, réchauffeurs...), ce type de revêtement contribue à assurer aux divers éléments du satellite une température confortable alors que, sans lui, elle varierait entre+ 100 et-150°C.
Sur une capsule récupérable (pour les vols habités ou les missions biologiques par exemple), la protection thermique prend la forme d'un épais bouclier isolant dont la substance se sublime en absorbant l'énergie calorifique dégagée par le flux aérothermique lors de la rentrée dans l'atmosphère.
Sur un avion spatial (comme les orbiteurs américains), engin réutilisable, la protection thermique est permanente et conçue pour supporter, sans altération, les températures très élevées du retour dans l'atmosphère. Elle se compose de divers matériaux dont la nature varie selon les zones et le flux thermique attendu : matériaux composites ou céramiques réfractaires à base de silice, de carbone ou de carbure de silicium. Par exemple, le nez et le bord d'attaque des ailes (dont la température peut dépasser 1 500 °C) sont recouverts d'un composite carbone-carbone.

La protection thermique des orbiteurs américains pèse 71, soit 10 % de la masse totale du véhicule.

Protée. Satellite de Neptune (n° III), découvert en 1989 par la sonde américaine Voyager 2. Nom international : *Proteus.* Demi-grand axe de son orbite : 117 650 km. Période de révolution sidérale : 1,122 j. Diamètre : 436 x 402 km.

Protéus (sigle de Plate-forme Reconfigurable pour l'Observation, les TEIécommunications et les Usages Scientifiques). Filière de minisatellites français (pesant au maximum 500 kg) développés conjointement par le CNES et Aérospatiale (aujourd'hui Alcatel Space Industries) et destinés à des missions très variées, scientifiques ou d'applications. La première de ces missions, Jason 1, est attendue pour mai 2000.

protoétoile n.f. ère interstellaire se trouvant dans une phase de condensation qui prélude à la naissance d'une étoile.
ENCYCL. La contraction gravitationnelle d'un nuage de gaz suffisamment massif (de masse supérieure à 0,06 fois celle du Soleil) permet d'augmenter ia température centrale jusqu'au seuil (~ 10^7 K) où les réactions de fusion thermonucléaire d'hydrogène et d'hélium peuvent s'amorcer et entretenir une étoile. Par contrecoup, la contraction s'accélère, puis se stabilise : la protoétoile s'est transformée en étoile. FU *Orionis,* dans la nébuleuse d'Orion, est un exemple fameux de protoétoile observée pendant la phase où la contraction s'accélère. La durée de vie d'une protoétoile est d'autant plus brève que celle-ci est massive.

protogalactique adj. Relatif à une protogalaxie.

protogalaxie n.f. Nuage de gaz à partir duquel se forme une galaxie, par contraction gravitationnelle.

Proton. Puissant lanceur russe utilisé pour la mise en orbite des éléments de station orbitale (Saliout, Mir et la Station spatiale internationale), de tous les satellites géostationnaires de la Russie et de nombreuses sondes spatiales.
ENCYCL. La version biétage d'origine, utilisée en 1965 et 1966, a laissé la place aux versions à quatre étages (en service depuis 1967) ou à trois étages (en service depuis 1968) appelées Proton K. Tous les étages sont à ergols liquides.
Les lanceurs Proton K pèsent environ 7001 au décollage et mesurent jusqu'à 61 m de haut. Ils peuvent placer jusqu'à 211 en orbite basse (avec 3 étages) ou 4,5 t en orbite de transfert géostationnaire, inclinée de 48° (avec 4 étages).
A la fin de 1998, plus de 250 exemplaires (toutes versions confondues) avaient été lancés, tous de Tiouratam.
Depuis 1995, la société américano-russe ILS

(International Launch Services) commercialise au plan mondial ces lanceurs.
Une version plus performante, Proton M, dotée d'un quatrième étage cryotechnique, est attendue pour 2000.

protoplanète ni. Planète en formation par contraction gravitationnelle, au sein du disque de gaz et de poussières enveloppant une étoile après que celle-ci s'est condensée au cœur d'une nébuleuse. La formation rapide de grandes protoplanètes gazeuses, pourvues d'un noyau central solide, est l'un des mécanismes envisagés aujourd'hui pour expliquer comment se sont constituées les planètes du système solaire. **-*cosmogonie**

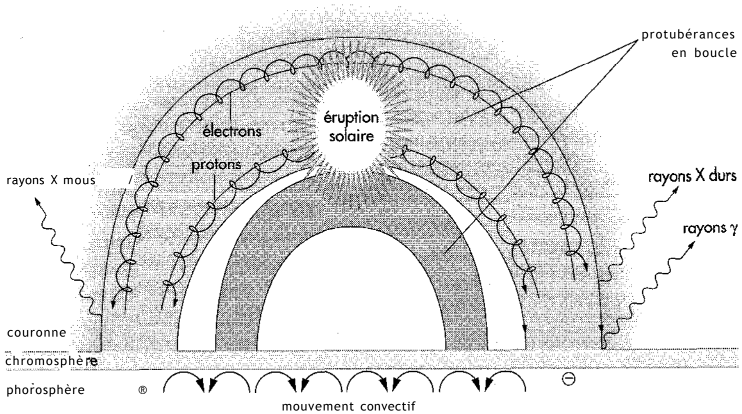
protostellaire adj. Relatif à une protoétoile.

prototype n.m. 1. Premier exemplaire construit industriellement d'un dispositif destiné à des essais en vue de la construction en série. 2. Synonyme de modèle de qualification.

protubérance (solaire) n.f. Structure de l'atmosphère solaire, haute et étroite.
ENCYCL. Toutes les protubérances sont constituées par de très nombreuses structures fines généralement en forme d'arches, serrées et entrelacées. Elles sont ancrées dans la chromosphère et affectées de très nombreux mouvements internes (voir figure).
Observées en lumière monochromatique et en projection sur le disque solaire, elles apparaissent en forme de lames quasi radiales, sombres par effet de contraste et généralement très allongées sur le Soleil. On les appelle souvent *filaments chromosphéricjues.* L'aspect général, tant sur le disque qu'au bord solaire, est très dépendant de la direction d'implantation et de l'effet de perspective par rapport à la ligne de visée. C'est pourquoi les classifications actuelles s'appuient plus sur les critères dynamiques des objets que sur leur morphologie apparente. On peut regrouper les protubérances en trois classes selon qu'elles sont quiescentes, actives ou éruptives.

LES PROTUBÉRANCES QUIESCENTES marquent, en général, la limite de l'influence magnétique des groupes de taches. Elles peuvent atteindre plus d'un rayon solaire d'extension longitudinale, leur épaisseur est de l'ordre de 4 000 à 5 000 km et leur altitude de 100 000 à 200 000 km. Elles peuvent avoir une durée de vie de quelques jours à 300 jours. Ces protubérances peuvent subir au cours de leur vie des disparitions brusques, phénomènes dus à des perturbations magnétiques transitoires ou définitives.
LES PROTUBÉRANCES ACTIVES sont, en général, des protubérances en mouvement; elles sont souvent implantées dans les régions actives

Protubérance solaire



et par là même sont susceptibles de subir des transformations morphologiques à l'échelle de quelques heures ou de quelques jours. On peut mesurer pour leurs structures fines des mouvements de matière pouvant atteindre plusieurs dizaines de kilomètres par seconde. Généralement de faible altitude, leurs extensions dépassent rarement 50 000 km et elles s'observent au bord solaire principalement au moment de leurs activa tions.

LES PROTUBÉRANCES ÉRUPTIVES sont des protubérances de très courte durée (de quelques minutes à quelques heures). C'est la projection sur le fond du ciel des mouvements de matière associés aux éruptions solaires. On y observe parfois des éjections de matière pouvant atteindre des altitudes de plusieurs rayons solaires dans la couronne et des mouvements de retombée importants.

protubérantiel, elle adj. Relatif à une protubérance solaire.

Proxima. Étoile de la constellation du Centaure qui, de toutes les étoiles connues, est la plus proche du Soleil.

ENCYCL. C'est une naine rouge, de type spectral M 5, dont la masse vaut 0,12 fois celle du Soleil, et qui est située à une distance de 4,22 années de lumière (d'après les mesures effectuées par le satellite Hipparcos*). Elle constitue l'une des composantes du système triple a *Centauri.*

Ps A. Abréviation de *Piscis Austrinus,* désignant la constellation du Poisson austral.

Psc. Abréviation de *Pisces,* désignant la constellation des Poissons.

PSLV (sigle de l'angl. *Polar Satellite Launch Vehicle,* lanceur pour satellite polaire). Lanceur spatial indien.

ENCYCL. Haut de 44 m pour 2,8 m de diamètre et pesant 280 t au décollage, ce lanceur possède quatre étages (deux à ergols liquides et deux à poudre) et six propulseurs auxiliaires à poudre. Il permet de placer une charge utile de 11 en orbite polaire, à 900 km d'altitude. Son exploitation a débuté avec un échec (1993) et trois succès (1994, 1996 et 1997).

Ptolémée (Claude), astronome, géographe et mathématicien grec (Ptolémaïs de Thébaïde ? v. 100-Canope ? v. 170).

Héritier de toute la tradition scientifique et philosophique grecque, il reprit, poursuivit et compléta les travaux de ses prédécesseurs. Sa *Syntaxe mathématique,* qui nous est parvenue dans sa traduction arabe, 1' *Aimageste,* renferme tout à la fois l'exposé des connaissances astronomiques et la description des instruments d'observation du ciel des Grecs ainsi qu'un traité complet de trigonométrie plane et sphérique. On y trouve présenté le célèbre système géocentrique du monde qui fit autorité jusqu'à la Renaissance : au centre de l'Univers trône la Terre, immobile ; autour d'elle se déploient les sphères célestes successives sur lesquelles se meuvent la Lune, le Soleil et les planètes ; la huitième sphère, très lointaine, à laquelle sont accrochées les étoiles, marque la limite de l'Univers. Aboutissement des efforts de toute une lignée d'astronomes, ce système ne prétend pas décrire la réalité mais constitue seulement une représentation cinématique conforme aux observations de l'époque et aux principes de la physique d'Aristote.

Ptolémée. Cratère lunaire, du type plaine* murée, qui forme une chaîne avec les cratères Alphonse* et Arzachel. Coordonnées : 14° S., 3° O. Diamètre : 150 km. Nom international : *Ptolemœus.* Son fond est tapissé de lave sombre et ses remparts sont criblés de petits cratères.

Puck. Satellite d'Uranus (n° XV), découvert en 1985 par la sonde américaine Voyager 2. Demi-grand axe de son orbite : 86 000 km. Période de révolution sidérale : 18 h 17 min. Diamètre : 154 km.

Puiseux (Pierre), astronome français (Paris 1855-Fontenay, Jura, 1928).

Il étudia l'accélération séculaire du mouvement de la Lune, le mouvement des astéroïdes, détermina la constante de l'aberration et, avec M. Lœwy, à l'Observatoire de Paris, participa activement à l'élaboration de la Carte du ciel et d'un atlas photographique de la Lune.

puissance spatiale. État ou groupe d'États ayant prouvé sa capacité à placer des satellites en orbite à l'aide de ses propres lanceurs.
ENCYCL. L'ex-URSS est devenue la première puissance spatiale en plaçant sur orbite le premier satellite artificiel, Spoutnik 1, le 4 octobre 1957. Elle a précédé les États-Unis (1958), la France (1965), le Japon (1970), la Chine (1970), le Royaume-Uni (1971), l'Europe réunie au sein de l'Agence spatiale européenne (1979), l'Inde (1980) et Israël (1988).

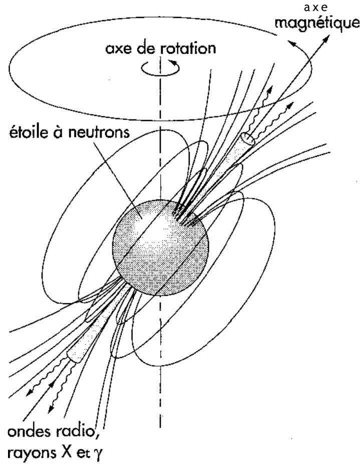
Èn 1999, on ne compte donc encore que neuf puissances spatiales, la CEI (qui a succédé à l'URSS) et les États-Unis demeurant celles qui disposent des moyens les plus importants et les seules à posséder des vaisseaux habités. Le Royaume-Uni n'a procédé au lancement que d'un seul satellite à l'aide d'un lanceur de sa fabrication et a abandonné (en 1973) son programme de lanceur national. La France, elle aussi, a abandonné (en 1975) sa filière de lanceurs nationaux (Diamant*), au profit du lanceur européen Ariane*.

L'Italie, malgré plusieurs tentatives (missile Alfa et fusée San Marco Scout) n'a jamais disposé de son propre lanceur. Elle a, en revanche, lancé des satellites - italiens et étrangers - avec des fusées américaines Scout, depuis la plate-forme San Marco qu'elle a installée au large des côtes du Kenya.

Enfin, l'Irak semble avoir inauguré un lanceur avec succès, mais sans satellite, le 5 décembre 1989.

pulsar n.m. (de l'anglais *pulsa[tingj[sta]r).* Source de rayonnement électromagnétique (le plus souvent radio), se caractérisant par des émissions très brèves à intervalles extrêmement réguliers.
ENCYCL. Les pulsars ont été découverts en 1967. Plus d'un millier sont actuellement connus, quasiment tous situés dans la Galaxie (le premier pulsar extragalactique a été identifié en 1993 dans le Grand Nuage de Magellan). On les désigne conventionnellement par les lettres PSR suivies d'un matricule exprimant leurs coordonnées célestes équatoriales. Leurs périodes (temps séparant leurs impulsions successives) s'étalent entre

Modèle schématique d'un **pulsar**



1,5 ms et plus de 3 s. Les impulsions, ou *puises,* qu'ils émettent ne durent que 1/100 à 1/10 de la période. On les décèle parfois simultanément dans les domaines radio, optique, X et *y.* La régularité de la période s'explique en admettant que l'on a affaire à des étoiles en rotation très rapide, dont un point source émet des ondes électromagnétiques, à la manière d'un phare. Une étoile tournant si vite ne peut être stable que si elle est très petite et elle ne peut émettre suffisamment d'énergie que si elle est massive. Les pulsars seraient des étoiles à neutrons, avec une masse voisine de celle du Soleil pour un diamètre d'une dizaine de kilomètres. L'émission d'impulsions radio serait due à des champs magnétiques intenses provoquant un rayonnement synchrotron directif observable seulement quand l'axe magnétique de l'étoile passe en direction de la Terre (*voir* figure).

Les pulsars permettent d'étudier le milieu interstellaire. En effet, la quantité de matière située entre l'observateur et un pulsar provoque une dispersion des impulsions du pulsar; celles qui sont observées à basse fréquence nous arrivent en retard par rapport à celles observées à haute fréquence. Le passage de nuages de matière sur la ligne de visée, en diffusant légèrement les ondes radio, fait scintiller le signal reçu sur la Terre. Ce phénomène renseigne sur la taille et la vitesse des nuages de gaz interstellaire. En

1974, les Américains R. Hulse* et J. Taylor* ont découvert dans la constellation de l'Aigle un pulsar, PSR 1913+16, dont la fréquence de pulsation fluctue régulièrement en 7 h 45 min autour d'une valeur moyenne de 640 Hz. En fait, la fréquence d'émission est bien stable et seule la fréquence reçue varie : ce phénomène (effet Doppler*) révèle le mouvement orbital du pulsar autour d'un compagnon invisible (vraisemblablement une autre étoile à neutrons). Ce premier spécimen identifié de pulsar binaire (ou pulsar double) a été utilisé pour tester la théorie de la relativité générale. Hulse et Taylor ont accumulé de nombreuses données d'observation grâce auxquelles ils ont pu établir les caractéristiques de l'orbite du pulsar et étudier leurs variations au cours du temps. Ils sont ainsi parvenus à confirmer avec un haut degré de précision certaines prédictions de la théorie de la relativité. En particulier, leur mesure de la décroissance de la période orbitale a fourni la première preuve indirecte de l'existence d'ondes* gravitationnelles.
Depuis 1982 ont été identifiés plusieurs pulsars ultrarapides, dont la période des impulsions n'est que de quelques millisecondes (d'où le nom de *pulsars millisecondes* donné à ces objets célestes). Leur décélération est plus lente et leur champ magnétique plus faible que ceux des pulsars ordinaires. Il pourrait s'agir d'anciens pulsars binaires dont le processus d'évolution aurait été modifié par accrétion de la matière de leur compagnon aujourd'hui disparu. Depuis 1992, enfin, on suspecte la présence de planètes* autour de plusieurs pulsars.

pulsation n.f. Variation périodique du volume de certaines étoiles (céphéides* en particulier) qui se traduit par des fluctuations régulières de leur luminosité.

puise n.m. (mot anglais signifiant vibration, impulsion). Impulsion électromagnétique émise à intervalles très réguliers par un pulsar.

Pup. Abréviation de *Puppis,* désignant la constellation de la Poupe.

Puppis. Nom latin de la constellation de la Poupe (abrév. *Pup).*

PVH (sigle de Premier Vol Habité). Première mission spatiale franco-soviétique habitée, qui a vu l'envoi dans l'espace du premier spationaute français, J.-L. Chrétien*.
ENCYCL. Elle avait pour objet la réalisation, à bord de Saliout* 7, d'un programme scientifique (médecine, biologie, métallurgie et astronomie) représentant, au total, une dizaine d'expériences et plus de 400 kg de matériel. Parti de Baïkonour le 24 juin 1982, avec la capsule Soyouz T 6, l'équipage, comprenant Djanibekov, Ivantchenkov et Chrétien, rejoignit Saliout 7 le lendemain. En 27 séances de travail, le programme prévu fut exécuté. Le retour des trois cosmonautes au sol eut lieu le 2 juillet, après un séjour dans l'espace de 189 h 51 min et 127 révolutions autour de la Terre (soit 5,4 millions de km parcourus).

pyrotechnie n.f. Science et technique des poudres et des matières explosives.

pyrotechnique adj. Relatif à la pyrotechnie.

Pyx. Abréviation de *Pyxis,* désignant la constellation de la Boussole.

Pyxis (-idis). Nom latin de la constellation de la Boussole (abrév. *Pyx).*

PZT. Abréviation de l'anglais *Photographie Zenith Tube,* couramment utilisée pour désigner la lunette zénithale* photographique.

QSO. Abréviation de l'anglais *Quasi Stellar Object,* utilisée pour désigner un objet quasistellaire*.

QSS. Abréviation de l'anglais *Quasi Stellar Source,* utilisée pour désigner une source quasistellaire*.

quadrant n.m. Synonyme de quart-de cercle.

Quadrantides. Essaim de météorites, et météores associés observables autour du 3 janvier, dont le radiant se trouve au nord de l'étoile P du Bouvier, dans une région du ciel ou Lalande avait introduit au XVIIIe siècle la constellation du Quadrant mural.

quadrature n.f. Configuration présentée par deux astres dont l'écart angulaire sur la sphère céleste est de 90°. Dans le cycle des phases de la Lune, le premier quartier et le dernier quartier correspondent aux époques où la Lune et le Soleil sont en quadrature.

qualification n.f. Reconnaissance de l'aptitude d'un composant, d'un équipement ou d'un engin spatial (lanceur ou satellite) à remplir normalement sa mission.

quarantaine n.f. Isolement provisoire de durée variable (quelques jours à plusieurs semaines) imposé à l'équipage d'un vaisseau spatial avant ou après le vol, dans un but prophylactique.

ENCYCL. Aussitôt après leur amerrissage, au terme de leur mission, les astronautes des vols Apollo* revenant de la Lune étaient enveloppés dans des vêtements d'isolation biologique, enfermés dans une enceinte, puis transportés par air jusqu'au centre spatial de Houston et mis en quarantaine pendant près de trois semaines dans le laboratoire de réception lunaire spécialement construit à cet effet. Aujourd'hui, les astronautes de la navette américaine sont mis en quarantaine la semaine précédant leur vol pour bénéficier d'un environnement calme et sain. De même, au cours des trois dernières semaines de leur préparation (au prophylactorium* de la Cité des étoiles et à Baïkonour), les cosmonautes des vaisseaux russes Soyouz n'approchent plus qu'un nombre restreint de personnes afin de limiter les risques contagieux.

quart-de-cercle n.m. Instrument ancien de mesure des angles, en particulier des hauteurs, constitué d'une lunette de visée mobile accolée à un grand secteur de 45° très finement divisé, sur lequel on lisait les rotations de la lunette, SYN : *quadrant.* Très utilisé au XVIII[e] siècle, il a cédé la place ensuite aux instruments méridiens.

quartier n.m. Phase de la Lune dans laquelle la moitié du disque lunaire est visible. On distingue le premier quartier, avant la pleine lune, visible le soir, avant minuit, et le dernier quartier, qui suit la pleine lune, visible le matin, après minuit.

quasar n.m. (acronyme de *QUAsi Stellar Astronomical Radiosource,* radiosource astronomique quasistellaire). Astre d'apparence stellaire et de très grande luminosité, dont le spectre présente des raies d'émissions affectées d'un fort décalage* vers le rouge.

ENCYCL. Le premier quasar a été découvert en 1960, lorsque A. Sandage* identifia une radiosource compacte (3C 48) à une source de rayonnement visible d'aspect stellaire (diamètre apparent inférieur à 1") et de couleur très bleue. Les quasars (dont le nom a été forgé en 1963) sont cependant des astres tout à fait différents des étoiles. Leur spectre présente des raies d'émission correspondant à une forte excitation, et ces raies sont très décalées vers le rouge, comme l'a montré M. Schmidt* en 1963. Ce décalage est si important que des raies émises dans l'ultraviolet sont observées dans les longueurs d'onde du visible. Le décalage spectral relatif z des quasars a des valeurs allant de $z = 0,1$ à $z = 5$, et 80 % environ des quasars présentent des valeurs du décalage z supérieures à 0,8. L'origine de ces grands décalages s'interprète de manière cohérente dans le cadre de l'expansion* de l'Univers. Cela implique que les quasars sont situés à de grandes distances.

Compte tenu de leur dimension apparente faible et de leur éclat apparent élevé, les quasars sont des astres de dimensions intrinsèques très petites (de l'ordre de 1/100 de diamètre d'une galaxie) et de luminosité considérable (de l'ordre de celle qu'auraient 100 à 1 000 galaxies).

PROPRIÉTÉS. Parmi les quasars qui sont des radiosources (moins de 10 % au total), certains peuvent présenter une émission radio aussi puissante que celle des radiogalaxies*. Les quasars radio sont constitués d'une source centrale extrêmement compacte, mais présentent parfois, comme les radiogalaxies, une structure avec plusieurs composantes qui semblent s'écarter à des vitesses plusieurs fois supérieures à celle de la lumière (→ **superluminique).** Certaines composantes, révélées par l'interférométrie à très longue base, ont des diamètres inférieurs à 1 année de lumière.

Les quasars manifestent une variabilité complexe du flux reçu dans le domaine optique et radio. Les fluctuations peuvent être très

rapides, à l'échelle de quelques jours, ou beaucoup plus lentes, à l'échelle de quelques années ; leur amplitude peut être supérieure à une magnitude. Une variabilité importante est en général observée lorsqu'il y a une structure complexe, avec la présence de jets, comme dans le cas de la radiosource 3C 273. Ces phénomènes complexes sont plus largement rencontrés dans les galaxies* actives, dont l'essentiel de la puissance rayonnée provient d'un minuscule noyau central.
L'idée que les quasars sont la partie visible - parce que très lumineuse - d'un noyau de galaxie active très lointaine (dite *galaxie hôte)* est confortée par l'observation, autour de certains quasars, d'une faible nébulosité diffuse. Celle-ci s'interprète comme étant le disque d'une galaxie sous-jacente dont le quasar serait le noyau devenu lumineux au cours d'une phase particulière de l'évolution de la galaxie.

Alors que les quasars radio semblent toujours nichés dans des galaxies elliptiques géantes, les quasars qui n'émettent pas d'ondes radio semblent être associés à des galaxies spirales. Cela tient peut-être à ce que le potentiel gravitationnel plus important des galaxies elliptiques et leur pauvreté en gaz et en poussières rendent possible le passage des jets de matière qui forment les lobes d'où provient l'émission de rayonnement radio.

On pense aujourd'hui que les quasars doivent leur exceptionnelle luminosité à la présence, au centre de la galaxie dont ils constituent le noyau, d'un trou noir extrêmement massif (jusqu'à 100 millions de fois la masse du Soleil). Des étoiles entières seraient ainsi aspirées, disloquées, et viendraient grossir un immense tourbillon de gaz.
Cette matière, en rotation très rapide, portée à haute température par des phénomènes de friction et de turbulence, émettrait, avant de s'engouffrer dans le trou noir, la fantastique énergie que l'on observe.
DISTANCES EXTRÊMES. On connaît à présent des milliers de quasars. Le plus lointain, découvert en 1991, à l'observatoire du mont Palomar, est le quasar PC 1247+3406, dans la constellation des Chiens de Chasse : son décalage spectral z=4,9 le place à une distance comprise entre 12 et 16 milliards d'années de lumière selon la valeur adoptée pour la constante de Hubble. La lumière qui nous en parvient a été émise alors que l'Univers n'avait que 5 à 10 % de son âge actuel. Plusieurs spécimens de quasars doubles ou triples ont été décelés : ils illustrent le phénomène de mirage gravitationnel prévu par la théorie de la relativité générale, tout comme le quasar dit *Trèfle* à quatre feuilles.* Du fait de leur éloignement, les quasars permettent de sonder l'espace intergalactique. La lumière qu'ils émettent parcourt des distances considérables avant de nous parvenir et peut être altérée par la présence de matière sur son chemin. Son analyse spectrale révèle des objets que l'on ne pourrait détecter directement, soit parce qu'ils se trouvent trop loin et sont trop peu brillants, soit parce qu'ils ne contiennent pas d'étoiles. On a pu ainsi montrer que l'espace intergalactique renferme de nombreux nuages de gaz et que les galaxies sont entourées d'enveloppes gazeuses géantes (ou halos).

quasistellaire adj. Se dit d'un astre dont l'image sur un cliché photographique est ponctuelle comme celle d'une étoile, mais dont la nature n'est pas stellaire (-• **quasar).**
Objet quasistellaire (QSO) : quasar découvert à partir d'un échantillon d'objets optiques.
Source quasistellaire (QSS) : quasar découvert à partir d'un échantillon de radiosources.

queue de poussée. Poussée résiduelle d'un moteur-fusée en fin de combustion.

queue n.f. Traînée lumineuse, constituée de gaz ou de poussières, issue de la tête d'une comète et toujours dirigée à l'opposé du Soleil, sous l'effet de forces non gravitationnelles (vent solaire, pression de rayonnement).

Quille (nébuleuse de la). Autre nom de la nébuleuse du Cône.

r

R Coronae Borealis. Étoile variable irrégulière de la constellation de la Couronne boréale, découverte en 1795 par l'Anglais E. Pigott.

ENCYCL. D'une magnitude habituellement voisine de *6,* son éclat décroît brutalement, passant à une magnitude comprise entre 7 et 15, mais le plus souvent voisine de 12,5, et se stabilise pendant plusieurs mois avant de revenir subitement à son stade initial. C'est le prototype d'une classe de variables irrégulières dont l'éclat reste longtemps constant puis, en quelques jours ou semaines, baisse de plusieurs magnitudes avant de retrouver sa valeur initiale au bout d'un délai qui peut atteindre plusieurs années. Ces étoiles sont des supergéantes très lumineuses, de type spectral F, G, K ou R. Leur spectre révèle qu'elles sont riches en carbone : leur diminution sporadique d'éclat s'explique par l'éjection d'une enveloppe de poussières, qui constitue un écran temporaire pour leur lumière. Quand cette enveloppe se dissipe ou est réabsorbée par l'étoile, l'éclat réaugmente.

radar (acronyme de l'angl. *RAdio Détection And Ranging,* détection et télémétrie par radio) n.m. 1. Procédé de détection ou de localisation d'un objet et, éventuellement, de détermination de certaines de ses caractéristiques (telles que sa vitesse), fondé sur l'émission d'ondes radioélectriques et sur l'analyse des ondes réfléchies ou émises en retour par l'objet. 2. Appareil mettant en œuvre ce procédé.

ENCYCL. Le principe du radar consiste à émettre, en un faisceau étroit et pendant une durée très courte, des ondes radioélectriques qui atteignent l'obstacle et, après réflexion, retournent vers l'émetteur. La connaissance de la durée du trajet aller et retour des ondes permet de déterminer la distance de l'obstacle. La vitesse de la cible est donnée par le décalage en fréquence de l'onde de retour par rapport à l'onde émise (effet Doppler).

Les premiers radars fonctionnaient en ondes métriques. Puis on passa aux ondes décimétriques et, dans bien des cas, on utilise aujourd'hui des ondes centimétriques. Plus les ondes sont courtes, plus on les concentre facilement en un faisceau étroit, et plus elles sont aptes à détecter des obstacles présentant une faible surface de réflexion. Les ondes sont émises par impulsions de très courte durée (fraction de microseconde) et de puissance élevée (jusqu'à plusieurs mégawatts). Une technique fréquemment utilisée est celle du balayage électronique, qui permet de changer la forme de l'antenne point par point en un temps négligeable et ainsi, avec le même dispositif, sans déplacement de pièce métallique, de faire varier la direction du rayonnement ou la forme du diagramme de rayonnement.

L'« épaisseur » de l'antenne est contrôlée (à intervalle d'une demi-longueur d'onde) le plus souvent grâce à des dispositifs appelés « déphaseurs électroniques » (ou « retards électroniques ») commandés par un calculateur numérique, qui modifie donc en fonction des besoins la direction d'examen et la forme du faisceau ainsi rayonné. On peut aussi introduire dans l'épaisseur de l'antenne, avec chaque déphaseur, des éléments émetteurs et un récepteur élémentaire ; ceux-ci répartissent la fonction d'émission dans toute l'antenne.

Cela permet de disposer, tout le long de l'antenne, de nombreux signaux reçus, puis de les combiner entre eux de diverses façons pour obtenir des performances nouvelles. Une telle antenne est dite « à balayage électronique actif ». Le radar trouve de nombreuses applications dans le domaine spatial.

LES DIFFÉRENTS RADARS. Au sol, des radars de poursuite permettent de suivre automatiquement les véhicules spatiaux après leur lancement, à des fins de localisation. En orbite, des radars imageurs fournissent des images du sol et des océans de jour comme de nuit, quelle que soit la nébulosité : leur capacité de vision nocturne et à travers la couverture nuageuse en fait des instruments très appréciés, en complément des dispositifs de photographie dans le visible ou l'infrarouge, pour l'observation de la Terre, tant sur le pian civil (télédétection, océanographie, surveillance des glaces...) que sur le plan militaire (reconnaissance), ou pour la cartographie d'autres planètes, comme Vénus, dont la surface est cachée par des nuages ; des radaraltimètres autorisent des mesures d'altitude (altimétrie* spatiale) ; des radars de sondage permettent de déterminer les caractéristiques météorologiques par l'analyse des ondes radioélectriques rétrodiffusées par les différentes couches de l'atmosphère ; enfin, les radars de surveillance militaire guettent les moindres mouvements de troupes ou de navires à la surface du globe.

Les radars utilisés pour l'observation de la Terre sont dits « à synthèse d'ouverture » (ou « SAR »). Ce sont des radars à visée latérale (c'est-à-dire qui observent au sol une bande de terrain décalée latéralement par rapport à la trajectoire du satellite à bord duquel ils se trouvent) munis d'un dispositif de traitement des signaux rétrodiffusés qui permet d'améliorer la résolution géométrique des images selon l'axe du déplacement en superposant les échos successifs d'un même point identifiés par leur effet Doppler. Tout se passe comme si les signaux rétrodiffusés avaient frappé les différentes parties d'une grande antenne ou une longue série de petites antennes. La longueur maximale de l'ouverture correspond à la distance le long de la trajectoire pour laquelle la cible visée se trouve à l'intérieur du faisceau radar.
L'écho reçu en retour véhicule deux informations : l'intensité (liée aux caractéristiques de la cible) et la durée du trajet aller-retour (qui dépend de la distance). Le mélange final des signaux permet ainsi d'obtenir une image en relief. Celle-ci est construite par ordinateur; elle nécessite un très grand nombre de calculs et de manipulations de données.

UTILISATION DES RADARS À SYNTHÈSE D'OUVERTURE. Depuis la mise en orbite, en 1978, du satellite américain Seasat* 1, premier engin spatial civil équipé d'un radar, des radars à synthèse d'ouverture ont été mis en service dans l'espace (à bord de la navette américaine, des satellites européens ERS*, etc.). En avril et en octobre 1994 ont eu lieu les premières expérimentations du SRL (Space Radar Laboratory) associant, à bord de la navette américaine, un radar germano-italien monofréquence (X-SAR) et un radar américain bifréquence (SIR-C). Les territoires survolés ont ainsi été « filmés » par bandes de 15 à 90 km de large avec une résolution de 10 à 200 m. C'est la première fois (hormis d'éventuelles expérimentations militaires restées secrètes) qu'était utilisé un système de radars spatiaux multifréquences. Les images du sol ont été enregistrées simultanément dans deux longueurs d'ondes différentes (3,6 et 24 cm) correspondant à des hyperfréquences (entre 1 et 10 GHz).

radaraltimètre n.m. Radar placé à bord d'un satellite, qui permet de déterminer la différence d'altitude entre celui-ci et la surface de l'astre autour duquel il gravite.

radarastronomie n.f. Technique du radar appliquée à l'astronomie.
ENCYCL. La puissance émettrice nécessaire pour obtenir un écho radar étant proportionnelle à la quatrième puissance de la distance entre l'émetteur et la cible, l'utilisation du radar en astronomie exige la réalisation d'une puissance élevée à l'émission et d'une sensibilité très poussée à la réception des échos. Pratiquement, le radar ne peut être utilisé que pour l'exploration des astres du système solaire.
En 1946, deux ingénieurs du corps des trans-

missions de l'armée américaine, De Witt et Stodola, ont obtenu pour la première fois un écho radar de la Lune. En 1961, une nouvelle étape a été franchie avec la détection d'échos radar de la planète Vénus*, plus de 100 fois plus éloignée.
Depuis, la radarastronomie s'est considérablement développée et s'est révélée un puissant moyen d'investigation des planètes, des astéroïdes* et des noyaux de comètes*. Elle a permis, notamment, de déterminer les périodes de rotation de Mercure* et de Vénus (1965) et de dresser la carte du relief de Vénus.
— • **Arecibo, Magellan**

Radarsat. Satellites canadiens d'observation de la Terre par imagerie radar.
ENCYCL. Ce programme a été engagé en 1989. Un premier satellite, Radarsat 1, doté d'un radar imageur à synthèse d'ouverture, a été lancé en 1995 ; un deuxième, Radarsat 2, est prévu en 2001 (résolution de 3 à 100 m) et un troisième, Radarsat 3, qui sera équipé d'un radar multifréquence à double polarisation et antenne active, vers 2006. La commercialisation des images est assurée par le consortium Radarsat International, dont le siège est à Vancouver.

radial, e adj. *Vitesse radiale d'un astre :* composante de la vitesse de l'astre parallèle à la direction d'observation. Elle se déduit du décalage des raies dans le spectre de l'astre, dû à l'effet Doppler-Fizeau.

radiant n.m. Point de la sphère céleste d'où semblent émaner les météores d'un essaim.

radiation n.f. Émission de particules ou d'un rayonnement de longueur d'onde monochromatique ; ces particules ou ce rayonnement lui-même.

radiative (ère). Période comprise entre une seconde et 300 000 ans environ après le Big* Bang, durant laquelle la physique de l'Univers aurait été dominée par des photons.

radioastronome n.m. Spécialiste de radioastronomie.

radioastronomie n.f. Branche de l'astronomie qui étudie le rayonnement radioélectrique des astres.
ENCYCL. Le domaine de la radioastronomie est limité, au niveau du sol par la transparence de l'atmosphère, et couvre les longueurs d'onde allant de quelques millimètres à environ 15 m. Sa limitation vers les courtes longueurs d'onde provient de l'absorption du rayonnement électromagnétique par les molécules d'oxygène et de vapeur d'eau de l'atmosphère. Sa limitation vers les grandes longueurs d'onde est due à l'ionosphère, qui réfléchit vers l'extérieur le rayonnement électromagnétique des astres dont la longueur d'onde est supérieure à 15 m.
PARTICULARITÉS DES INSTRUMENTS. Les caractéristiques des systèmes collecteurs - appelés radiotélescopes* - sont différentes de celles des télescopes dits *optiques.* Pour réfléchir correctement des ondes électromagnétiques, il faut que la surface collectrice ait une précision de l'ordre du dixième de la longueur d'onde d'utilisation. C'est pourquoi les antennes des radiotélescopes sont le plus souvent constituées d'un simple grillage. En revanche, la grande longueur d'onde d'observation constitue une limitation sérieuse du pouvoir séparateur des radiotélescopes. En effet, ce pouvoir séparateur, pour une surface collectrice donnée, est proportionnel à la longueur d'onde d'utilisation. Ainsi, un radiotélescope de 100 m a un pouvoir séparateur de 8' à la longueur d'onde de 21 cm, alors qu'un télescope optique avec un miroir de 1 m de diamètre a un pouvoir séparateur de 0,15".
Cependant, les techniques de l'interférométrie permettent d'atteindre un pouvoir séparateur meilleur qu'en astronomie optique **(-• radio-interférométrie).** Les observations faites sur de grandes longueurs d'onde présentent l'avantage de pouvoir être exécutées de jour comme de nuit et de n'être pas gênées par les nuages de l'atmosphère terrestre ; celle-ci peut cependant perturber les observations dans le domaine millimétrique. De plus, les ondes radioélectriques peuvent traverser la matière interstellaire* sans être arrêtées par les poussières absorbantes qui bloquent la lumière visible. Ainsi, l'exploration optique ne permet pas de perce-

voir le centre galactique, alors que la radioastronomie permet d'explorer entièrement tout le plan de la galaxie.
DÉCOUVERTES MAJEURES. La première émission radio d'origine céleste a été observée en 1931-32 par Karl Jansky : elle provenait du centre de notre galaxie. Le développement de la technique des radars a suscité un essor rapide de la radioastronomie après la Seconde Guerre mondiale, avec la découverte de nombreuses radiosources*.
La radioastronomie est à l'origine de la découverte d'astres nouveaux, tels les quasars* ou les pulsars*. Enfin, elle a apporté à la cosmologie une observation fondamentale par la mesure du rayonnement à 3 K.
Le rayonnement radioélectrique observé dans l'Univers se présente comme dans le domaine visible sous forme de rayonnement continu et de rayonnement spectroscopique (analogue aux raies observées dans le domaine visible). La principale raie observée dans le spectre radio est celle de l'hydrogène neutre, à 21 cm de longueur d'onde, découverte en 1951. D'autres raies ont été découvertes depuis 1965, dans le domaine centimétrique ; ces raies, liées aux régions d'hydrogène ionisé, sont appelées *raies de recombinaison.* Enfin, un nouveau domaine spectroscopique s'est ouvert à la radioastronomie avec les raies émises par les molécules du milieu interstellaire : raie du radical OH à 18 cm, découverte en 1963 ; raie de la molécule CO à 2,6 mm, découverte en 1970, et nombreuses raies de molécules plus complexes, dans le domaine millimétrique, découvertes depuis 1968.

radiodiffusion par satellite. Technique de transmission d'informations au moyen de satellites artificiels géostationnaires dont les émissions radioélectriques peuvent être reçues directement par le public en général, à l'aide d'antennes (individuelles ou communautaires) de faible diamètre (entre 50 et 180 cm, selon les zones de réception). On la désigne couramment sous le nom de « télévision directe » ou « télédiffusion directe ».
ENCYCL. La radiodiffusion par satellite peut être sonore (programmes radiophoniques) ou visuelle (programmes télévisés).
Par rapport à un réseau terrestre de radiodiffusion, qui utilise un grand nombre d'émetteurs et de réémetteurs, la radiodiffusion par satellite présente les avantages suivants : une couverture immédiate du pays à desservir sans devoir attendre une installation longue, coûteuse et progressive d'équipements au sol ; une qualité uniforme sur toute la zone de couverture et la disparition quasi totale des zones d'ombre en région montagneuse, problème bien connu des réseaux de diffusion terrestres ; l'utilisation d'une seule fréquence par programme diffusé au lieu d'une multitude de canaux nécessaires par programme dans les réseaux terrestres ; des contraintes extrêmement réduites pour la maintenance au sol des équipements de contrôle, à comparer aux moyens nécessaires pour la maintenance d'un réseau terrestre (faisceaux hertziens, émetteurs et réémetteurs) ; une zone de couverture pour les émissions par satellite largement ouverte au-delà des frontières du pays à cause de débordements techniquement inévitables, donnant une large audience aux programmes.
Les premières expérimentations de radiodiffusion par satellite ont été menées aux États-Unis, à partir de 1974, avec le satellite ATS 6, puis quelques années plus tard au Canada (programme Hermès/CTS) et au Japon. En 1999, plusieurs systèmes spatiaux sont opérationnels, comme BS (Japon), Astra (Luxembourg), Eutelsat (Europe) et PanAmSat (États-Unis).

radiofréquence n.f. Fréquence d'une onde radioélectrique. -«**bande (de fréquences)**

radiogalaxie n.f. Galaxie émettrice d'un puissant rayonnement radioélectrique.
ENCYCL. La première radiogalaxie a été identifiée en 1953 ; elle est associée à la radiosource Cygnus* A. Alors qu'une galaxie normale émet au moins 10 000 fois plus dans le domaine visible que dans le domaine radio, une radiogalaxie émet un rayonnement aussi intense en radio qu'en optique. Il s'agit le plus souvent d'une galaxie elliptique géante présentant certaines particularités morphologiques (bande de poussières, jet, etc.). Leur rayonnement radio provient pour une part des régions centrales de la galaxie visible, sous la forme d'une source centrale

compacte, mais, le plus souvent, il provient pour l'essentiel de régions diffuses beaucoup plus étendues que la galaxie visible et situées symétriquement de part et d'autre de celle-ci. La cartographie détaillée de ces régions montre généralement l'existence de jets d'émission radio dirigés de la galaxie visible vers la source double étendue. Les radiogalaxies sont également des émetteurs de rayonnement X au moins 100 fois plus puissants que les galaxies normales. La quantité d'énergie émise par les radiogalaxies ne peut s'expliquer par la contribution globale du rayonnement de leurs étoiles ; d'autres mécanismes mettant en jeu les électrons très rapides du milieu interstellaire sont à l'origine de cette émission. Il s'agit en particulier d'émission par rayonnement synchrotron* et d'émission par rayonnement de freinage*, dit *bremsstrahlung*. De gigantesques explosions survenues dans le noyau des galaxies visibles et ayant éjecté des plasmas à hautes énergies, ainsi que le champ magnétique de ces galaxies permettent d'expliquer l'existence et la nature des deux lobes d'émission radio diamétralement opposés qui caractérisent les radiogalaxies.

radiohéliographe n.m. Radiotélescope destiné spécifiquement à fournir des images du Soleil dans le domaine radioélectrique.
ENCYCL. L'émission radio du Soleil provient de la couronne, à des altitudes d'autant plus élevées que la longueur d'onde est grande : les émissions centimétriques proviennent de la région de transition, les émissions métriques, de la moyenne- couronne, les émissions décamétriques, de la haute couronne. L'imagerie radio permet ainsi, en utilisant des longueurs d'onde différentes, de sonder la couronne solaire à plusieurs niveaux. L'émission solaire étant très rapidement variable, les radiohéliographes sont caractérisés par leur capacité à fournir des images complètes à une cadence élevée.

radio-interféromètre n.m. Radiotélescope composé de plusieurs antennes plus ou moins distantes observant simultanément un même astre.
ENCYCL. Le radio-interféromètre le plus simple, constitué de deux radiotélescopes, permet d'obtenir un pouvoir séparateur équivalent à celui d'un radiotélescope unique dont la dimension serait l'espacement des deux radiotélescopes. Comme, pour une longueur d'onde fixée, le pouvoir séparateur est inversement proportionnel au diamètre de l'instrument, la technique interférométrique permet d'augmenter le pouvoir séparateur à mesure que l'on augmente l'espacement des deux radiotélescopes.

Dans le radio-interféromètre dit *à réseau* inventé en 1953 par l'Australien Willem Christiansen et employé surtout pour les observations solaires, une série d'antennes équidistantes (souvent des paraboloïdes de révolution) sont alignées suivant une direction est-ouest ou nord-sud et reliées convenablement. La croix de Mills comporte deux très longs réflecteurs linéaires orientés respectivement est-ouest et nord-sud : il en existe notamment un exemplaire à Bologne (deux branches de 1 000 m) et un autre à Sydney (deux branches de 1 600 m). Dans l'interféromètre dit *à base variable,* utilisé principalement pour l'étude de la structure des radiosources, en particulier de leurs dimensions, on emploie deux antennes mobiles (sur des tronçons de voie ferrée) dont on fait varier la distance.

SYNTHÈSE ET SUPERSYNTHÈSE D'OUVERTURE. Technique mise au point en 1960 par sir Martin Ryle à Cambridge (Angleterre), la synthèse d'ouverture met en œuvre un interféromètre dont on peut déplacer les antennes de manière à faire varier la distance qui les sépare. En effectuant une série d'observations avec des écartements d'antennes différents, on obtient une « image » radio de la source étudiée équivalente à celle que donnerait un réflecteur dont la surface serait égale à celle sur laquelle on déplace les antennes.

Ainsi, on réalise la synthèse d'une antenne de grande dimension avec une série de petites antennes mobiles En fait, si le pouvoir séparateur est équivalent à celui d'un grand instrument, la sensibilité (liée à la surface réelle des antennes) est plus faible. Sous sa forme la plus simple, un radiotélescope à synthèse d'ouverture comporte une antenne fixe et une autre mobile, à laquelle on donne toutes les positions possibles à l'intérieur de la surface à synthétiser. En fait, pour réduire le nombre d'observations, on utilise un ré-

seau d'antennes fixes dans la direction est-ouest et une antenne mobile sur un axe nord-sud.
On peut aussi utiliser la rotation de la Terre pour modifier l'orientation relative des antennes par rapport au ciel : en 12 heures, la ligne de base prend toutes les orientations possibles par rapport à la direction de la source. Cette technique, appelée *supersynthèse d'ouverture,* a été mise au point à Cambridge, où plusieurs instruments l'utilisent, et elle est employée avec beaucoup d'efficacité à Westerbork* (Pays-Bas) ; mais le plus grand réseau d'antennes qui l'utilise est le *Very Large Array* (VLA*), aux États-Unis.
On obtient un pouvoir séparateur encore meilleur en associant des antennes situées à des centaines, voire à des milliers de kilomètres de distance, parfois sur des continents différents : c'est l'interférométrie à très grande base ou VLBI (*Very Long Base line Interferometry)* —• **radio-interférométrie.** Dans ce cas, les antennes ne sont pas associées « en direct », mais leurs signaux, enregistrés sur bandes magnétiques, sont corrélés « en différé » à l'aide d'un ordinateur.
→ **Australia Telescope, VLBA**

radio-interférométrie n.f. Technique de la radioastronomie qui fait appel à l'emploi de radio-interféromètres.
ENCYCL. La recherche des meilleurs pouvoirs séparateurs possibles, pour étudier la structure détaillée des radiosources* compactes, a conduit à développer la radio-interférométrie intercontinentale. Cette technique, appelée VLBI *(Very Long Baseline Interferometry),* fournit aux longueurs d'onde centimétriques un pouvoir séparateur de l'ordre de 1/10 000 de seconde d'arc, pour un espacement de l'ordre du diamètre de la Terre. La radioastronomie permet alors d'obtenir une résolution plus fine que celle fournie par les télescopes optiques.
On songe à présent à étendre les hases d'observation en plaçant en orbite autour de la Terre des radiotélescopes qui fonctionneront en liaison avec les réseaux VLBI au sol. Le projet russe Radio-Astron prévoit la mise en orbite de deux radiotélescopes de 10 m de diamètre, qui graviteront respectivement en un jour et une demi-journée ; la première antenne a été testée en 1992. Le Japon, dans le cadre de son VLBI *Space Observatory Program,* prévoit de lancer une antenne de 8 m de diamètre dans l'espace et de l'utiliser conjointement avec des antennes situées au Japon, en Europe, en Australie et aux États-Unis, afin d'obtenir les performances d'un radiotélescope qui aurait de deux à trois fois le diamètre de la Terre.

radiomètre n.m. En télédétection, capteur mesurant une fraction du rayonnement électromagnétique, par exemple celui que la surface terrestre et les nuages émettent ou réfléchissent de façon naturelle.
ENCYCL. Contrairement au capteur photographique (qui impressionne directement des films qu'il convient de rapporter sur terre), le radiomètre effectue des mesures aptes à la numérisation, au traitement informatique et à la transmission automatique, sous forme d'ondes radio, vers le sol où sont élaborés des produits variés (entre autres, des images). Pour cette raison, on embarque cet instrument sur de nombreux satellites d'observation de la Terre (comme Landsat ou SPOT) et de météorologie (comme Météosat ou NOAA).

radionavigation (par satellites) n.f. Utilisation de satellites artificiels pour aider la navigation de véhicules terrestres, maritimes, aériens ou spatiaux.
ENCYCL. La notion de navigation implique ici que le mobile est capable de déterminer lui-même, à son bord, ses coordonnées géographiques.
Une constellation de satellites diffuse des signaux radioélectriques codés que tout mobile, équipé du récepteur adéquat, peut capter et traiter pour en déduire sa position (et, dans certains cas, sa vitesse).

radiosource n.f. Astre émetteur de rayonnement radioélectrique continu.
ENCYCL. On distingue les radiosources bien localisées dans l'espace (par ex. le Soleil ou une galaxie), et les radiosources présentant une distribution continue dans l'espace (par ex. le rayonnement du halo de notre galaxie ou le rayonnement cosmologique à 3 K). La première radiosource autre que le Soleil a été découverte en 1946 par des radioastronomes britanniques. Située dans la direction

de la constellation du Cygne, elle a été appelée Cygnus* A. Le premier catalogue de radiosources a été établi en 1950 par les radioastronomes de Cambridge (catalogue IC [premier catalogue de Cambridge], suivi d'autres catalogues : 2C, 3C, etc.). Plusieurs milliers de radiosources sont actuellement répertoriées, la plupart étant extragalactiques
Les radiosources localisées dans notre galaxie sont essentiellement liées aux nébuleuses gazeuses, aux pulsars, aux restes de supernovae, aux étoiles éruptives.
Le rayonnement radio continu observé dans l'Univers est produit par trois mécanismes : émission thermique du corps noir (Lune, planètes, rayonnement cosmologique) ; émission thermique de gaz ionisé *(bremsstrahlung)* [nébuleuses gazeuses, galaxies] ; émission synchrotron (restes de supernovae, galaxies actives, quasars).

radiotélescope n.m. Instrument destiné à l'étude du rayonnement radioélectrique des astres.
ENCYCL. Un radiotélescope est constitué d'un collecteur appelé « antenne », qui joue le même rôle que le miroir d'un télescope optique, et d'un système détecteur, qui mesure le rayonnement radioélectrique collecté. Les antennes des radiotélescopes sont le plus souvent des réflecteurs paraboliques ou sphériques, garnis de grillage métallique, dont la maille doit être au moins dix fois plus fine que la longueur d'onde d'observation. Des collecteurs de grandes dimensions sont nécessaires pour atteindre de grandes sensibilités et mesurer des flux très faibles ; la radioastronomie* présente de ce point de vue un avantage sur l'astronomie du domaine visible. En effet, on a pu réaliser des antennes dont le diamètre est de l'ordre de 100 m. Cependant, il est difficile d'obtenir à la fois la plus grande surface collectrice possible et la faculté d'orienter ce collecteur dans toutes les directions du ciel. La limite maximale actuelle, pour une antenne complètement orientable, est celle du radiotélescope d'Effelsberg, près de Bonn (Allemagne), mis en service en 1972, qui est un paraboloïde de 100 m de diamètre. Des antennes plus grandes équipent des radiotélescopes de type « méridien », comme celui de l'observatoire radioastronomique de Nançay*, en France. De tels radiotélescopes ne peuvent étudier les radiosources que lorsque celles-ci sont proches du méridien. Un dernier type de radiotélescope à très grande antenne est celui où l'antenne est fixe : tel est le cas du radiotélescope d'Arecibo* (Porto Rico), dont l'antenne paraboloïdale, de 300 m de diamètre, pointe dans la direction du zénith. De meilleurs pouvoirs séparateurs sont obtenus en utilisant des réseaux d'antennes.
→ **radio-interféromètre**

Radouga (mot russe signifiant *arc-en-ciel).* Satellites russes géostationnaires utilisés pour les télécommunications nationales (téléphone, télégraphie et télévision). Près de 40 satellites de ce type ont été lancés de 1975 à 1998.

Radouga. Capsule récupérable éjectée par certains vaisseaux Progress avant leur destruction dans l'atmosphère. Elle peut rapporter sur Terre de 80 à 150 kg d'échantillons divers ou de cassettes vidéo.

raie (spectrale) n.f. Ligne brillante (raie d'émission) ou sombre (raie d'absorption) qui interrompt un spectre continu. L'ensemble des lignes brillantes forme un spectre d'émission ; l'ensemble des lignes sombres, un spectre d'absorption.

raie interdite. Raie spectrale inobservable au laboratoire dans les conditions ordinaires parce que sa probabilité d'occurrence est très faible ou parce qu'elle résulte d'une transition entre un niveau d'énergie métastable et le niveau fondamental. Son émission est observée, en revanche, dans certaines régions de l'Univers constituant des milieux extrêmement raréfiés, comme les nébuleuses* ou les atmosphères stellaires. On la désigne par le nom de l'élément chimique émissif suivi d'un nombre en chiffres romains exprimant son état d'ionisation, le tout placé entre crochets : [O III], par exemple, correspond à une raie interdite de l'oxygène ionisé deux fois ([OI] étant l'oxygène neutre, c'est-à-dire non ionisé).

rainure n.f. Entaille longue et étroite creusée à la surface de la Lune. La rainure Hyginus et celles voisines du cratère Triesnecker, dans la région centrale du disque lunaire, comptent parmi les plus célèbres.

rampe de lancement. Structure orientable servant au maintien et au guidage initial de divers engins propulsés par moteur-fusée (fusée-sonde, missile, etc.).

Ranger. Sondes américaines d'étude de la surface lunaire lancées entre 1961 et 1965.
ENCYCL. Le programme Ranger avait un double objectif, s'inscrivant dans les préparatifs du programme Apollo : photographier le sol lunaire avec une résolution métrique ; déposer sur ce sol, avec une vitesse réduite (200 km/h), de petits sismomètres. Lorsqu'il s'avéra que le second objectif était techniquement irréalisable, seul le premier fut conservé.

Les six premières sondes échouèrent pour des raisons diverses (défaillance du lanceur, mauvaise trajectoire, panne des équipements de bord).
Seules les trois dernières s'acquittèrent avec succès de leur mission : Ranger 7 transmit 4 316 images de la surface lunaire en juillet 1964 avant de s'écraser dans la région du cratère Fra Mauro ; Ranger 8, 7 137 images en février 1965 avant de s'écraser dans la mer de la Tranquillité ; et Ranger 9, 5 814 images en mars 1965 avant de s'écraser dans le cratère Alphonse.

rapport de masse. Rapport de la masse totale d'une fusée, au moment du décollage, à sa masse après l'arrêt de la propulsion. C'est une caractéristique fondamentale des fusées, qui permet notamment de calculer la vitesse finale' qu'elles peuvent atteindre. K. Tsiolkovski* fut le premier à en saisir toute l'importance.

Ras Algethi (locution arabe signifiant *tête de l'homme agenouillé*). Étoile a d'Hercule.
ENCYCL. C'est, en fait, un système de deux étoiles liées par leur attraction mutuelle. La composante principale est une supergéante rouge dont l'éclat varie de façon semi-régulière en 90 j entre les magnitudes 3 et 4, et la composante secondaire une étoile de magnitude 5,4 qui est elle-même une étoile double* spectroscopique. Distance : 400 al.

RAS. Sigle de *Royal Astronomical Society.*

Rasalhague (d'une locution arabe signifiant *tête du porteur de serpent,* par allusion à la représentation ancienne de la constellation). Étoile *a* d'Ophiucus. Magnitude apparente visuelle : 2,1. Type spectral : A5. Distance : 47 années de lumière.

RASC. Sigle de *Royal Astronomical Society of Canada.*

Ratan-600. Radiotélescope de l'observatoire spécial d'astrophysique de l'Académie des sciences de Russie, situé près de Zelentchouk, dans le Caucase.
ENCYCL. Il comprend 895 panneaux orientables de 2 m sur 7,4 m, formant une antenne circulaire de 600 m de diamètre qui peut être utilisée soit d'un seul tenant, soit fractionnée en plusieurs segments autonomes, pour capter des rayonnements de 8 mm à 20 cm de longueur d'onde. À l'intérieur du cercle figurent un miroir plan orientable de 400 m de long et 8,3 m de haut, ainsi que plusieurs dispositifs focaux mobiles sur des rails.

rayon vecteur. Droite qui, à tout instant, joint le centre d'un corps en mouvement orbital au centre de mouvement de ce corps. Dans le cas d'une orbite circulaire, le centre de mouvement coïncide avec le centre du cercle ; dans le cas d'une orbite elliptique, c'est l'un des deux foyers de l'ellipse.

rayonnement n.m. **1.**Ondes, et éventuellement particules associées, assurant un transport d'énergie dans un milieu, à partir d'une source. 2. Ce transport d'énergie lui-même. **3.** *Rayonnement corpusculaire :* rayonnement considéré comme formé essentiellement par des particules telles que électrons, protons, neutrons, noyaux. **4.** *Rayonnement électromagnétique* : rayonnement caractérisé par des ondes électromagnétiques, ou éventuellement par des photons associés.
ENCYCL. Les rayonnements électromagnétiques sont caractérisés par l'existence d'un champ magnétique et d'un champ électri-

que variables, étroitement associés, qui se propagent à une vitesse, dans le vide, à c = 300 000 km/s et, dans un milieu matériel, à *c/n,* où *n* est l'indice de réfraction du milieu. Un rayonnement électromagnétique dit « monochromatique » est caractérisé par une fréquence notée *v,* ou une longueur d'onde clans le vide *X* = *c/v.*
Rayonnement thermique : émission d'un rayonnement électromagnétique par un corps porté à une certaine température. On caractérise le rayonnement thermique des corps par comparaison avec le rayonnement d'un corps idéal, appelé corps noir*, qui absorbe tout le rayonnement qu'il reçoit. *Rayonnement thermique à* 3 *K* : rayonnement radioélectrique provenant de toutes les directions du ciel et qui présente les propriétés du rayonnement thermique d'un corps noir à une température voisine de 3 K. SYN : *rayonnement cosmologique, rayonnement du fond de ciel.* Découvert en 1965 par A. Penzias* et R. Wilson*, il s'explique aisément dans le cadre de la théorie du Big* Bang, qu'il a très solidement confortée. *Rayonnement visible :* rayonnement électromagnétique susceptible de produire une sensation visuelle.

rayonnement cosmique. Flux de particules chargées de très haute énergie (principalement, des noyaux d'hydrogène [protons] et d'hélium [particules alpha] ; dans une faible proportion, des noyaux atomiques plus lourds) d'origine solaire, galactique ou extragalactique.
ENCYCL. Les principales sources de rayonnement cosmique sont les éruptions solaires, le noyau de notre galaxie, des explosions stellaires (supernovae) et des objets extragalactiques tels que les noyaux de galaxies actives et les quasars.

Le rayonnement cosmique solaire et le rayonnement galactique ou extragalactique forment le rayonnement cosmique primaire, constitué de 89 % de protons, de 10 % de particules alpha et de 1 % seulement d'ions lourds. Ces particules ont des énergies très variables, souvent de plusieurs centaines de MeV (millions d'électronvolts) et pouvant même atteindre plusieurs dizaines de GeV (milliards d'électronvolts).
L'IRRADIATION DES SPATIONAUTES. Alors qu'il est partiellement arrêté par l'atmosphère, ce rayonnement constitue un danger pour les spationautes, particulièrement lorsque ceux-ci effectuent des sorties extravéhiculaires : l'irradiation subie peut être alors de plusieurs dizaines de millirems à l'heure. La dose reçue pourrait être ainsi relativement importante si le spationaute était conduit, au cours d'une même mission, à multiplier ses sorties dans l'espace.
La dose pourrait être même beaucoup plus élevée si les sorties se faisaient lors du passage dans l'anomalie de l'Atlantique Sud **(-• ceinture de rayonnement)** ou si le vaisseau spatial tournait autour de la Terre en passant près des pôles : les orbites polaires, intéressantes pour les satellites d'observation parce qu'elles permettent de balayer successivement toute la surface de la Terre, sont par contre très dangereuses sur le plan radiobiologique ; en rejoignant la Terre vers le pôle Nord et le pôle Sud, les lignes de force du champ magnétique créent deux sortes d'entonnoirs dans lesquels les particules du rayonnement cosmique pénètrent facilement, ce qui explique les débits de dose élevés des orbites polaires.
En dehors de ces cas particuliers, un deuxième danger de l'irradiation par le rayonnement cosmique est lié à la possibilité qu'une éruption solaire importante se produise au cours d'une mission habitée.
Dans la majorité des cas, ces éruptions ne donnent que des doses de quelques dizaines ou quelques centaines de millirads, mais il en est de bien plus fortes, comme celle du 16 juillet 1959, qui donna une dose de 600 rads, et celle du 4 août 1972, qui donna une dose de 5 300 rads : doses redoutables si l'on sait qu'une irradiation de 500 à 700 rads est mortelle pour la majorité des individus.
Al'intérieur des véhicules spatiaux, la dose de rayonnement est évidemment plus élevée qu'au sol (où la dose annuelle reçue par un individu est estimée à 200 miËirads, dont 50 millirads correspondant au rayonnement cosmique), mais elle reste relativement basse, car une partie du rayonnement cosmique primaire est arrêtée par la paroi des vaisseaux; d'autres particules, notamment des neutrons, sont, par contre, créées par suite d'interactions des particules du rayonnement cosmique primaire avec les constituants de la paroi de la cabine spatiale. La

dose de rayonnement, dans les conditions des vols habités actuels, est de l'ordre de 20 à 40 millirads par jour. Dans la navette, la dose est en général plus faible, variant de 5 à 10 millirads par jour ; dans Skylab, qui volait à 435 km d'altitude au lieu de 250 à 300 km pour la navette et dont l'orbite était plus proche des régions polaires, la dose quotidienne était plus élevée et a pu atteindre 87 milliards lors de la mission Skylab 4.

PRINCIPAUX EFFETS BIOLOGIQUES. L'action des ions lourds sur l'organisme des spationautes se manifeste notamment par l'apparition de phénomènes lumineux appelés phosphènes : à l'occasion des vols Apollo, les astronautes signalèrent, pour la première fois, qu'ils « voyaient » des éclairs lumineux le plus souvent blancs mais parfois colorés, prenant la forme d'étoiles, de traits ou de nuages plus ou moins délimités alors qu'ils étaient dans l'obscurité ou qu'ils fermaient les yeux depuis une dizaine de minutes. Ces phosphènes étaient d'origine radiative : observés à l'occasion d'autres missions spatiales, ils sont beaucoup plus fréquents lors des passages dans les ceintures de Van Allen ; leur fréquence est comparable à celle des ions lourds et on peut les reproduire au sol avec un accélérateur d'ions lourds, comme l'ont fait deux médecins du département de biophysique de l'université de Berkeley.

Les effets du rayonnement cosmique peuvent se manifester aussi sur le développement des organismes : en détruisant certaines cellules embryonnaires dans une graine, les ions lourds peuvent être ainsi à l'origine de malformations qui apparaissent au moment de la germination et de la croissance de la plante, comme cela a été bien vu sur des graines de tabac embarquées dans Saliout 7 ou dans les biosatellites Cosmos.

Un autre danger du rayonnement cosmique tient à sa capacité à induire des effets génétiques : des anomalies chromosomiques et des effets mutagènes ont été observés chez diverses espèces animales ou végétales après des vols spatiaux. Il n'est pas exclu enfin que le rayonnement cosmique ait des effets sur l'organisme qui ne se manifestent que de façon tardive, par exemple en accélérant le vieillissement.

Pour toutes ces raisons, il sera nécessaire de porter une grande attention à l'exposition des spationautes au rayonnement cosmique lors des futurs vols spatiaux de longue durée (assemblage et exploitation de stations orbitales autour de la Terre, vols vers Mars, etc.). Et ce d'autant plus qu'il n'y a pas en ce domaine de possibilité d'adaptation, comme c'est le cas vis-à-vis de l'impesanteur : la dose absorbée et ses effets ne font qu'augmenter au fur et à mesure du déroulement des missions spatiales.

réaction n.f. Force qu'exerce en retour un corps soumis à l'action d'un autre corps.

ENCYCL. Selon le principe de l'action et de la réaction, l'un des principes fondamentaux de la dynamique, énoncé par Newton au XVIIe siècle, si un point matériel A exerce une force sur un autre point matériel B, B exerce sur A une force égale et opposée. Une fusée fonctionne selon ce principe : elle se propulse par réaction. L'éjection, vers l'arrière, des gaz brûlés par ses moteurs provoque, par réaction, son déplacement en sens inverse.

réalité de terrain. En télédétection, connaissance de caractéristiques de la scène étudiée à partir d'observations et de mesures réalisées sur place. Les expressions vérité-terrain et vérité de terrain, bien que d'un emploi très courant, sont considérées comme incorrectes.

récepteur n.m. Tout dispositif qui reçoit une énergie ou un signal et fournit une énergie ou un signal différents.

récession n.f. Éloignement mutuel des galaxies, dû à l'expansion* de l'Univers.

recherche spatiale. Toute recherche menée au moyen de systèmes spatiaux.

reconnaissance photographique par satellite. Prise de vues de la Terre effectuée par un engin spatial en orbite autour de la planète, dans le but de recueillir des renseignements d'intérêt tactique ou stratégique.

ENCYCL. De toutes les applications militaires de l'espace, la reconnaissance photographique est la plus importante. Elle permet aux responsables militaires et au gouvernement

des puissances qui y ont recours d'obtenir discrètement des informations sur les installations militaires et les grands équipements technologiques des autres pays, et de surveiller à l'échelle planétaire les mouvements de troupes et de matériels, les zones de conflits, etc. Tous les grands conflits des trente dernières années (guerres israélo-arabes, guerre Iran-Irak, bataille des Malouines, conflit d'Afghanistan, guerres du Golfe et de Yougoslavie...) ont été étroitement surveillés par des satellites de reconnaissance américains et soviétiques.

Les premiers satellites de reconnaissance photographique ont été lancés au début des années 60, par les États-Unis et l'ex-URSS. Les Américains utilisèrent d'abord des satellites Discoverer*, dotés d'une caméra à haute résolution dont le film revenait au sol dans une capsule munie d'une rétrofusée, qui pouvait être récupérée pendant sa descente en parachute, à l'aide d'un avion de transport spécialement modifié pour cette tâche ; et des satellites SAMOS*, équipés pour transmettre leurs images par radio chaque fois qu'ils survolaient les États-Unis. À partir de 1971, ils disposèrent de satellites Big* Bird, évoluant entre 160 et 250 km d'altitude et recueillant d'une part des images à moyenne résolution transmises au sol par radio après un traitement approprié, d'autre part des images à haute résolution (quelques décimètres) envoyées au sol dans des capsules récupérables, chaque satellite disposant de six capsules larguées successivement à des intervalles de trois à quatre semaines. Depuis la fin des années 70, les Big Bird sont remplacés par les engins de la famille KH*. Ceux-ci circulent sur des orbites plus élevées (plus de 300 km), ce qui leur assure une durée de vie plus longue (2 ans environ). Ils transmettent leurs images au sol sous forme numérisée (donc sans aucune dégradation) et possèdent, par ailleurs, des détecteurs opérant dans l'infrarouge. Une première version, le KH-11, a été introduite en 1976 ; elle est aujourd'hui remplacée par une version plus lourde et plus performante, le KH-12, dont le lancement est confié à la navette spatiale.

Dans l'ensemble du programme spatial de l'ex-URSS, les satellites de reconnaissance photographique constituent, de loin, la famille la plus nombreuse : plusieurs centaines ont été lancés (la plupart, dans le cadre du programme Cosmos*), le premier en 1962, sous le nom de Cosmos 4. Pendant longtemps, les engins utilisés ont été des dérivés du Vostok*, permettant respectivement l'obtention de clichés de 'haute, moyenne et basse résolution. Pour les clichés de haute résolution, le Vostok photographique a été remplacé, à partir de 1975, par un dérivé du Soyouz*, évoluant généralement entre 170 et 400 km d'altitude et muni de deux capsules récupérables en cours de vol. À la différence des Américains, les Soviétiques, jusque dans les années 80, ont utilisé exclusivement la technique de récupération des clichés obtenus par leurs satellites. Cette procédure leur permettait d'obtenir des clichés de très bonne qualité avec des caméras classiques, à défaut de maîtriser les technologies optiques et électroniques nécessaires à la transmission au sol d'images par voie radioélectrique. Mais, comme les satellites concernés avaient un périgée très bas (pour accroître la résolution des images), leur durée de vie était très courte (une douzaine de jours, en moyenne), et il fallait donc en lancer beaucoup pour assurer une surveillance permanente. Depuis 1983, cependant, l'ex-URSS dispose de satellites de reconnaissance photographique ayant une durée de vie de plusieurs mois et capables de transmettre au sol par radio les vues qu'ils prennent, à l'instar des engins américains. En 1999, les États-Unis, la CEI et la France (avec le système Hélios*) sont les seules puissances mondiales à disposer de satellites de reconnaissance photographique.

récupération n.f. Opération consistant à faire revenir un véhicule spatial à la surface terrestre.

redondance n.f. **1.** Existence dans un produit (composant, sous-système, système, service) de deux ou plusieurs moyens permettant d'accomplir une fonction requise. 2. En télécommunication, existence, dans un signal, de plus d'éléments qu'il n'est strictement nécessaire pour représenter l'information à transmettre. On peut ainsi pallier certains défauts de transmission.

redshift n.m. (mot anglais). Décalage spectral vers le rouge.

Redstone. Missile balistique américain à propergol liquide fortement inspiré du V2*, conçu aux États-Unis à partir de 1950 par l'équipe de W. von Braun.
ENCYCL. Pesant 281 pour une hauteur de 21 m et un diamètre de 2 m, le missile Redstone était propulsé par un moteur à oxygène liquide et à alcool et guidé par une centrale inertielle. Il pouvait atteindre un objectif distant de 320 km. Son premier essai en vol eut lieu en 1953 et, en 1958, il fut mis en service dans les forces armées américaines déployées en Europe. C'est un dérivé de ce missile, le lanceur Mercury-Redstone, qui permit en 1961 de qualifier la capsule Mercury* en vol suborbital, puis de lancer les deux premiers astronautes américains, A. Shepard et V. Grissom.

Redu. Ville de Belgique, dans les Ardennes, à 50 km environ au sud-est de Namur, siège d'une station européenne de télécommunications spatiales depuis 1968.
ENCYCL. La station de Redu assure les opérations de poursuite, de télécommande et de télémesure pour les satellites de l'Agence spatiale européenne. Elle constitue également une station de secours pour l'exploitation des satellites météorologiques européens Météosat. C'est aussi le site d'un camp spatial destiné à permettre aux jeunes de suivre des stages simulant la préparation et la réalisation d'un vol spatial habité, qui a ouvert en 1991.

réduction n.f. Opération par laquelle on ramène les résultats bruts obtenus au cours d'une observation à leur valeur telle qu'elle doit être introduite dans les calculs.

Rees (sir Martin John), astrophysicien britannique (Cambridge 1942). Directeur de l'institut d'astronomie de Cambridge, il est spécialiste de cosmologie. Depuis 1995, il a le titre d'Astronome royal.

Reeves (Hubert), astrophysicien canadien (Montréal 1932).
Ses principaux travaux portent sur l'astrophysique stellaire, la nucléosynthèse et la cosmologie. Il est l'auteur d'un grand nombre d'ouvrages de vulgarisation.

référentiel n.m. Système de repérage permettant de situer un événement dans l'espace et dans le temps. Il est idéalement constitué d'un trièdre, repère spatial, et d'une horloge, repère temporel. **relativité**

réflecteur n.m. Synonyme de télescope (par opposition à réfracteur).

réfracteur n.m. Synonyme de lunette astronomique (par opposition à réflecteur).

réfraction n.f. Changement de la direction de propagation d'une onde électromagnétique ou acoustique lorsque les caractéristiques du milieu de propagation varient le long de cette direction, soit brusquement (interface de deux milieux), soit progressivement (milieu non isotrope). *Réfraction astronomique :* modification apportée à la direction d'un astre par suite de la traversée de l'atmosphère terrestre par les rayons lumineux issus de cet astre.
ENCYCL. Par suite de la réfraction astronomique, la distance zénithale* observée est inférieure à la distance zénithale vraie ; Près de l'horizon, la réfraction, qui ne valait que 1' à la distance zénithale de 45°, atteint une valeur de l'ordre de 36' et s'accroît d'environ 5' pour une variation en plus ou en moins de 30' de la distance zénithale.
Par suite de la réfraction, le Soleil et la Lune (à la pleine lune) [diamètre apparent 32'], ont, pour un observateur, leur disque aplati de 1/5 au moment de leur lever et de leur coucher, ce qu'il est facile de constater expérimentalement.

réfracto-réflecteur n.m. Lunette astronomique dans laquelle le faisceau lumineux collecté par l'objectif parcourt un Z avant de parvenir à l'oculaire, la longueur totale de l'instrument se trouvant ainsi réduite à moins du tiers de la distance focale de l'objectif.

région n.f. Zone particulière d'un astre ou de l'espace. *Région active :* région de l'atmosphère du Soleil, associée à l'existence de groupes de taches, où s'observe une forte

variabilité de l'émission de rayonnement, de la température et des mouvements. *Région H I* : région du milieu interstellaire très riche en hydrogène neutre. *Région HII :* région du milieu interstellaire très riche en hydrogène ionisé.

ENCYCL. Le rayonnement ultraviolet émis par une étoile chaude ionise l'hydrogène interstellaire : l'étoile baigne donc dans de l'hydrogène ionisé, qui émet de la lumière et apparaît sous l'aspect d'une nébulosité brillante (région H II ou nébuleuse à émission) ; plus loin, le rayonnement ultraviolet ayant été absorbé, l'ionisation de l'hydrogène n'est plus possible et l'hydrogène reste sous forme neutre. C'est une région HI. Si la température de l'étoile centrale est insuffisante, ou à plus grande distance des étoiles chaudes, l'ionisation de l'hydrogène est impossible : il n'existe alors pas de région HII. Les régions H I sont essentiellement étudiées grâce à la raie 21 cm caractéristique de l'hydrogène neutre ; les régions H II sont également étudiées en radioastronomie, mais par le rayonnement thermique des électrons libres ; on les observe aussi en infrarouge.

Règle (en latin *Norma, -ae).* Petite constellation australe, au sud-ouest du Scorpion, introduite par La Caille en 1752. Elle ne renferme que des étoiles peu brillantes, dont la principale a une magnitude apparente de 4. Elle constituait initialement la constellation de l'Équerre et de la Règle.

régolite ou **régolithe** n.m. Couche superficielle de roches brisées, sur la Lune ou sur tout autre corps du système solaire dépourvu d'atmosphère, qui résulte du bombardement de la croûte de l'astre par des météorites.

régulation n.f. Opération visant à maintenir une certaine grandeur entre des limites fixées. Exemples : régulation thermique, régulation d'orientation, etc. Dans cette acception, l'emploi du mot contrôle est à éviter.

Régulus (nom latin signifiant *petit rot).* Étoile a du Lion. Magnitude apparente visuelle : 1,4. Type spectral : B8. Distance : 78 années de lumière. Rayon : 3,6 fois celui du Soleil.

ENCYCL. Le calendrier primitif des Chaldéens et des Babyloniens était réglé sur cette étoile (son observation servait à déterminer les équinoxes et les solstices). C'est aussi l'une de celles qui permirent à Hipparque* de découvrir la précession des équinoxes, en comparant leur position dans le ciel, telle qu'il l'observait, à celle indiquée par Aristillus et Timocharis deux siècles avant lui. On l'appelle parfois *le cœur du Lion,*

Reiter (Thomas), ingénieur, pilote et spationaute allemand (Francfort-sur-le-Main 1958). Sélectionné par l'Agence spatiale européenne comme spationaute en 1993, il a participé à la mission EuroMir* 95, séjournant 180 j dans l'espace et effectuant deux sorties extravéhiculaires.

relativiste adj. 1. Qui relève de la théorie de la relativité. *2.* Se dit d'une particule animée d'une vitesse proche de celle de la lumière et dont les effets propres à la théorie de la relativité* d'Einstein soient sensibles.

relativité (théories de la). Ensemble de théories qui affirment qu'il existe des référentiels équivalents pour décrire les phénomènes, les grandeurs relatives à un référentiel se déduisant, selon certaines transformations (propres à chaque théorie), des mêmes grandeurs relatives à un autre référentiel, les lois physiques exprimant les relations entre ces grandeurs restant invariantes.

ENCYCL. En mécanique newtonienne, on postule que deux expériences identiques réalisées dans deux référentiels en translation uniforme l'un par rapport à l'autre donnent des résultats identiques.

Les lois de la physique classique sont invariantes par rapport aux lois de transformations galiléennes reliant les coordonnées d'espace-temps d'un même événement exprimées dans deux référentiels R et R', où R' est animé d'une vitesse V (de composantes v_x, V , VJ constante par rapport à R :

(D

$t' = t$

$x' = x - v_x t$

$y' = y - V$

$z' = z - v_z t.$

Une conséquence de ces relations est la loi d'addition des vitesses dans un changement de référentiel.

RELATIVITÉ RESTREINTE. Au cours du XIXe siècle, il est apparu que les lois de l'électromagnétisme ne sont pas invariantes par la transformation (1) et que la vitesse *c* de la lumière est la même quel que soit le référentiel, en contradiction avec la loi de composition des vitesses. Einstein a postulé une nouvelle loi de transformation *(transformation de Lorentz),* qui a conduit à la théorie de la *relativité restreinte* (1905) et entraîné une révision fondamentale de la mécanique ; pour deux référentiels en translation uniforme l'un par rapport à l'autre, à la vitesse v parallèle à l'axe des abscisses Ox :

(2)

$x' = (x-vt)/1-v^2/c^2,$

$y' = y, z' = z$

$t' = (t-v_x/c^2)/1-v^2/c^2$

Les conséquences sur la cinématique sont nombreuses. L'intervalle de temps séparant deux événements change selon qu'on le mesure dans un référentiel où les deux événements ont lieu au même endroit ou dans un référentiel en mouvement uniforme par rapport au précédent (dilatation des durées). La notion de simultanéité n'est plus absolue : deux événements ayant lieu au même instant, en des endroits différents, dans un référentiel, n'ont pas lieu au même instant dans des référentiels différents. La distance séparant deux objets change d'un référentiel à l'autre (contraction des longueurs) et la loi de composition des vitesses est différente de la loi classique.

L'ensemble des phénomènes décrits n'est observable que si la vitesse des objets est voisine de celle de la lumière *(v/c* # 1). Si *v/c* est petit, les équations (2) se réduisent aux équations (1).

La relativité restreinte a aussi entraîné une révision de la dynamique. L'énergie totale E d'une particule de masse m_a et de vitesse v est :

$E = m_0c^2 \; 1 - v^2/c^2.$

L'énergie d'une particule au repos (m_aâ) peut se transformer en d'autres formes d'énergie par disparition de la masse et, réciproquement, l'énergie peut se matérialiser sous forme de masse.

RELATIVITÉ GÉNÉRALE. En généralisant le principe de relativité restreinte au cas des systèmes accélérés, Einstein a formulé le *principe d'équivalence :* l'égalité des masses pesantes (intervenant, par ex., dans : P = *mg)* et des masses inertes (dans F = *tny)* a pour conséquence qu'il est impossible de distinguer, dans un espace clos et limité, entre les effets d'un champ de gravitation et ceux des forces d'inertie résultant de mouvements accélérés. La relativité générale fait ainsi la synthèse de la mécanique et de la gravitation. L'interaction de gravitation est décrite comme une courbure de l'espace induite par la présence de masses.

Parmi les conséquences les plus importantes de la relativité générale, il faut citer l'interaction entre masse et rayonnement : les rayons lumineux sont déviés lorsqu'ils passent au voisinage de masses importantes et les longueurs d'onde des rayonnements émis par les atomes situés dans un champ de gravitation subissent un décalage vers le rouge. Ces divers effets ont pu être observés expérimentalement.

-• effet EinStein*, lentille* gravitationnelle, mirage* gravitationnel

remorqueur spatial (en anglais *tug).* Véhicule spatial réutilisable envisagé pour transférer des charges utiles entre différentes orbites au voisinage d'un corps céleste (comme la Terre, la Lune ou Mars), par exemple d'une orbite terrestre basse à l'orbite géostationnaire.

Renard (Petit) [en latin *Vulpecula, -ae].* Petite constellation boréale, au sud du Cygne, introduite par Hevelius en 1690.

ENCYCL. Elle ne renferme que des étoiles de faible éclat, la plus brillante étant de magnitude apparente 4,6. Sa principale curiosité accessible aux instruments d'amateur est la nébuleuse planétaire M 27 (dite *Dumb-bell, Haltère* ou *du Diabolo),* de magnitude 8, découverte par Messier en 1764, dans le prolongement de la ligne joignant Véga *(a Lyraé)* à Albireo (P *Cygni),* à 8° au-deîà de cette dernière : cette bulle gazeuse, située à une distance comprise entre 600 et 1 000 années de lumière, a dû être éjectée par une étoile parvenue au stade de nova* il y a un peu moins de 50 000 ans. Traversée par la Voie lactée, cette constellation est très riche en

amas stellaires ouverts. On y a découvert, en 1967, le premier pulsar* (CP 1919) et, en 1982, le premier pulsar milliseconde (PSR 1937 + 1214), dont la période vaut 1,558 milliseconde.

rencontre n.f. 1. Instant du passage d'une sonde spatiale au plus près d'un corps céleste au cours d'une mission de survol. 2. Période, avant et après cet instant, durant laquelle l'observation est effectuée.

rendez-vous spatial. Rapprochement intentionnel dans l'espace d'engins spatiaux satellisés séparément.

rentrée atmosphérique. Retour dans l'atmosphère terrestre d'un véhicule spatial.
ENCYCL. Pour l'orbiteur d'une navette ou pour une capsule récupérable, cette phase de vol est cruciale car elle s'accompagne d'un intense dégagement énergétique (dû au frottement aérodynamique) ; l'engin doit en effet pénétrer dans l'atmosphère selon une trajectoire et avec une attitude très précises sous peine d'être détruit.

répéteur n.m. Dans un satellite de télécommunications, appareil chargé d'amplifier les signaux radioélectriques collectés par l'antenne de réception (éventuellement après en avoir, au préalable, modifié la fréquence) et de les retransmettre vers le sol grâce à l'antenne d'émission. Un satellite récent peut compter une dizaine ou une vingtaine de répéteurs actifs et un petit nombre de répéteurs de secours.

réseau (solaire) n.m. Motif en cellules jointives, principalement observé loin des taches solaires dans les larges régions calmes de la basse atmosphère du Soleil.
ENCYCL. Des réseaux sont observés au niveau de la photosphère et de la chromosphère. Au niveau de la photosphère, le réseau est formé par la juxtaposition des granules*. La dimension des cellules est de l'ordre de 1 000 à 2 000 km. Leur comportement est directement contrôlé par la convection cellulaire sous-jacente. Au niveau de la chromosphère, le réseau se compose de mailles plus larges, les supergranules*, délimitées entre elles par les alignements des spicules*. Elles peuvent atteindre 5 000 à 10 000 km de diamètre.

réseau d'antennes. Radiotélescope constitué d'un ensemble d'antennes disposées régulièrement selon un ou plusieurs alignements, et dont on combine les signaux, → **radio-interféromètre**

réseau de poursuite **poursuite**

réseau n.m. Surface sur laquelle sont gravés de nombreux traits parallèles et équidistants très rapprochés (plusieurs milliers par millimètre) et utilisée comme élément dispersif en spectroscopie.
ENCYCL. Les réseaux employés en astronomie sont du type « à réflexion ». Ils sont constitués d'un support de verre (miroir) revêtu d'une couche mince d'aluminium sur lequel sont gravées de très fines rayures parallèles et équidistantes. Un faisceau de Lumière blanche tombant sur le réseau se trouve diffracté suivant une série de spectres d'autant plus étalés qu'ils se forment à une plus grande distance angulaire de l'image non dispersée, directement réfléchie par le miroir. On obtient ainsi des spectres dits « de premier ordre », « de deuxième ordre », etc.

résolution n.f. En télédétection, aptitude d'un système de mesure à distinguer deux valeurs voisines.
ENCYCL. On mesure la résolution soit par le pouvoir de résolution (radiométrique, spectrale, géométrique, temporelle, etc.), soit par la limite de résolution (grandeur inverse de la précédente). Dans le cas d'un satellite d'observation, la limite de résolution géométrique est la plus petite surface sur laquelle on peut effectuer des mesures compte tenu de l'altitude et du champ des capteurs. Par exemple, elle est de 10 m x 10 m pour les satellites SPOT (en mode panchromatique).

résolution (limite de). La plus petite distance, angulaire ou spectrale, entre deux points dont un instrument (lunette, télescope, spectrographe, etc.) fournit des images distinctes.
ENCYCL. Par suite de la diffraction*, l'image d'une source lumineuse ponctuelle donnée

par un instrument d'observation n'est pas un point mais une petite tache (tache d'Airy*). Celle-ci détermine la limite de résolution théorique de l'instrument. De même, l'image d'une raie spectrale monochromatique fournie par un système dispersant la lumière (prisme, réseau) est toujours quelque peu « étalée » et, pour que deux raies voisines soient séparées par le système, il faut que leur écartement soit supérieur à un intervalle minimal de longueur d'onde.

résolution (pouvoir de). Synonyme de pouvoir séparateur*.

résonance n.f. Situation d'un corps en mouvement orbital qui subit une perturbation gravitationnelle périodique de la part d'un autre.
ENCYCL. On connaît, dans le système solaire, de nombreux cas de résonance, entre des planètes ou des satellites naturels dont les périodes de révolution sont dans un rapport simple, par exemple 1/2, 2, 3/2, 4/3, etc. Ce sont des phénomènes de résonance qui expliquent notamment la présence de lacunes dans la ceinture d'astéroïdes* et de divisions dans le système d'anneaux de Saturne.

Ressource. Système spatial opérationnel russe pour l'étude des ressources naturelles, de la Terre mis en place à partir de 1986. Plus de 40 satellites (séries F ou O) ont été lancés).

restitution d'attitude. Reconstitution de l'orientation d'un engin spatial. On l'obtient en déterminant la position d'un trièdre lié au centre de masse de l'engin par rapport à un trièdre de référence.

restitution d'orbite. Reconstitution, au cours du temps, des paramètres orbitaux d'un engin spatial au moyen de méthodes prenant principalement en compte diverses mesures (d'angle, de distance et de vitesse) effectuées entre les stations au sol et le mobile. **orbitographie**

Ret. Abréviation de *Reticulum,* désignant la constellation du Réticule.

Réticule (en latin *Reticulum).* Petite constellation australe, introduite par La Caille en 1752, à l'ouest de la Dorade. Ses quatre étoiles les plus brillantes, de magnitudes apparentes comprises entre 3,4 et 4,5, dessinent un losange irrégulier au nord-est du Grand Nuage de Magellan*.

réticule n.m. Disque percé d'une ouverture circulaire dans laquelle deux fils très fins se croisent à angle droit et servent à la visée dans les lunettes astronomiques ou terrestres.

Reticulum (-i). Nom latin de la constellation du Réticule (abrév. *Ret).*

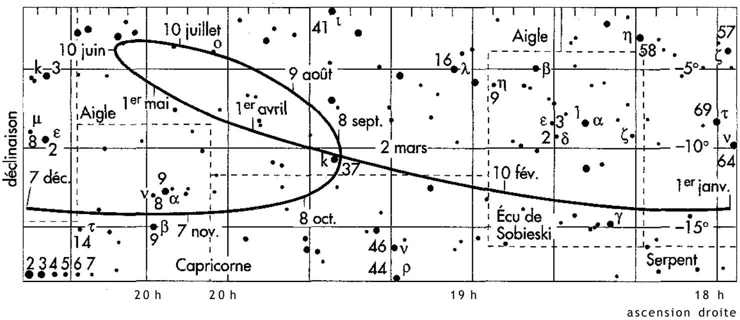
retombées spatiales. Effets bénéfiques, parfois inattendus, d'ordre économique, scientifique ou technique, de la recherche spatiale.

retour d'échantillons. Mission spatiale consistant à faire revenir sur terre une capsule contenant quelques fragments du sol d'un corps céleste prélevés par une sonde automatique.
ENCYCL. L'opération a été réussie à trois reprises par l'ex-URSS pour le sol lunaire, au moyen des sondes Luna, en 1970, 1972 et 1976. Elle est en cours pour une comète **(-• Stardust)** et en projet pour Mars **(-• Mars Sample Return).**

rétrofusée n.f. Moteur-fusée utilise pour ralentir un véhicule spatial, par exemple au cours de la désorbitation d'une capsule récupérable, de la satellisation ou de l'atterrissage en douceur d'une sonde planétaire. SYN : *fusée de freinage*

rétrogradation n.f. Phase du mouvement apparent d'une planète par rapport à la Terre durant laquelle la longitude géocentrique de cette planète décroît.
ENCYCL. Si l'on observe régulièrement pendant plusieurs mois une planète plus éloignée du Soleil que la Terre, on constate qu'elle décrit de vastes boucles dans le ciel parmi les constellations (*voir* figure) ; tantôt elle se déplace dans le même sens que le Soleil par rapport aux étoiles, tantôt elle se dirige en sens opposé : on dit alors qu'elle rétrograde. Ce phénomène résulte de ce que

Rétrogradation



Dans les *positions de Junon en 1978, la phase de rétrogradation s'étend de la première station (vers le 10 juin) à la seconde (vers le 10 septembre). L'opposition (0) se situe sensiblement au milieu de la rétrogradation.* (Éphémérides 1978 de l'annuaire du Bureau des longitudes).

la Terre et la planète considérée se déplacent autour du Soleil à des vitesses différentes, la plus rapide étant la Terre à cause de sa plus grande proximité du Soleil.

rétrograde adj. Mouvement qui s'effectue dans le sens nord-est-sud-ouest (sens du mouvement des aiguilles d'une montre) autour de la direction du pôle Nord du système considéré. Ce mouvement s'oppose au mouvement direct. On dit aussi qu'il s'effectue *dans le sens rétrograde.*

réutilisable adj. Susceptible d'être utilisé plusieurs fois. Qualifie certains lanceurs spatiaux comme les navettes dont l'orbiteur est récupéré et réutilisé par opposition aux lanceurs consommables classiques, qui ne servent qu'une fois.

révolution n.f. **1.** Mouvement périodique d'un corps suivant une trajectoire décrite autour d'un corps principal. 2. Accomplissement de ce mouvement pendant la durée d'une période. Par extension, période de ce mouvement.

révolution ni. Synonyme de période de révolution.

Rhéa. Satellite de Saturne (n° V), découvert en 1672 par J.D. Cassini. Demi-grand axe de son orbite : 527 040 km. Période de révolution sidérale : 4,517 5 j. Diamètre : 1 528 km. Densité moyenne : 1,2.

ENCYCL. Sa surface a été révélée pour la première fois en 1980 par la sonde américaine Voyager 1, qui s'en est approchée à 59 000 km. Elle est criblée de cratères d'impacts (dont certains atteignent 100 km de diamètre) et elle semble avoir connu deux périodes de bombardement : la plus ancienne aurait engendré les plus grands cratères et la plus récente les plus petits. Au centre de l'hémisphère arrière, des bandes brillantes révèlent peut-être l'extrusion de matériau sous-jacent le long de lignes de fracture.

Comme les autres satellites de Saturne de dimensions comparables, Rhéa doit être constitué principalement de glace.

Riccioli (Giovan Battista), astronome et géographe italien (Ferrare 1598-Bologne 1671).

En 1650, il fut le premier à observer une étoile double : Mizar, dans la Grande Ourse. Son *Almagestum Novum* (1651) renferme l'une des premières cartes de la Lune.

Richer 0ean), astronome français (1630-Paris 1696).

Lors d'une mission géodésique à Cayenne (1672-73), il découvrit que la longueur du pendule battant la seconde varie avec la latitude, ce qui lui permit d'introduire, pour la

détermination de la forme de la Terre, des méthodes dynamiques, très différentes des méthodes classiques de la triangulation. Il découvrit aussi le mouvement propre d'Arcturus et détermina la parallaxe de Mars.

Ride (Sally Kristen), astrophysicienne et astronaute américaine (Los Angeles 1951).
Elle fut la première Américaine et la troisième femme (après les Russes V. Terechkova, en 1963, et S. Savitskaïa, en 1982) à partir dans l'espace. Elle participa à deux missions de la navette spatiale, respectivement en juin 1983 et en octobre 1984.

Rigel (de l'arabe *Rijl Jauzah,* la jambe gauche du Géant). Étoile |3 d'Orion, la septième des plus brillantes du ciel. Magnitude apparente visuelle : 0,2. Type spectral : B8. Distance : 800 années de lumière. Rayon : 74 fois celui du Soleil. C'est une supergéante bleue, environ 50 000 fois plus lumineuse que le Soleil.

Rigil kentarus. Composante principale du système triple a du Centaure, la troisième des étoiles les plus brillantes du ciel. Magnitude apparente visuelle : - 0,3. Type spectral : G2. Distance : 4,40 années de lumière. Masse : 1,1 fois celle du Soleil. Rayon : 1,06 fois celui du Soleil.

Ritchey-Chrétien (télescope). Télescope *aplanétique* mis au point vers 1930 par le physicien français Henri Chrétien (1879-1956) et l'opticien américain George Willis Ritchey (1864-1945). Sa combinaison optique est analogue à celle du télescope de Cassegrain*, mais avec un miroir primaire hyperbolique.

RKA (sigle russe de *Rousskoye Kosmitcheskoye Agentsvo).* Agence spatiale russe créée en 1992 et chargée de l'élaboration ainsi que de la coordination des programmes spatiaux civils de la Russie.

RKK Energia (sigle de *Roussiskaïa Kosmitscheskaïa Korporatsia,* groupement spatial russe). Importante firme industrielle et scientifique de la Russie, fondée en 1946 et antérieurement dénommée NPO Energia. Ses activités portent notamment sur la conception, la construction, les essais et l'exploitation de divers systèmes spatiaux (vaisseaux automatiques et habités, stations orbitales, etc.). Elle emploie plus de 20 000 personnes, dont un millier à Baïkonour.

RNII (sigle russe de *Reaktivnyï Nautchno-Issledovatel'skii Institut,* Institut de recherches scientifiques sur la propulsion par réaction). Organisme de recherche et d'essais sur la propulsion à réaction fondé à Moscou en 1933 par fusion du Laboratoire de dynamique des gaz et du Groupe pour l'étude de la propulsion par réaction (GIRD*).
ENCYCL. Cet institut joua un rôle important dans la formation des premiers spécialistes des fusées dans l'ex-URSS. Il fut en relation étroite avec K. Tsiolkovski* jusqu'à la mort de celui-ci, en 1935, et réalisa de nombreuses fusées expérimentales.

Roche (Édouard), astronome, mathématicien et géophysicien français (Montpellier 1820-1883).
Il est l'auteur d'études sur la cosmogonie du système solaire, la structure interne de la Terre, les comètes, ainsi que de recherches météorologiques et climatologiques. En mécanique céleste, il a établi, en 1849, ce qu'on appelle *la limite de Roche.*

Roche (limite de). Distance en deçà de laquelle un satellite est détruit par les forces de marée dues à l'attraction du corps autour duquel il gravite.
ENCYCL. Cette distance est donnée par la relation $R = 2{,}45\ L\,r$, où R désigne le rayon de l'orbite du satellite mesuré à partir du centre du corps principal, r le rayon du corps principal et L un facteur qui dépend du rapport des densités des deux corps. Lorsque le corps principal et le satellite ont la même densité, L est égal à 1 et la relation devient $R = 2{,}45\ r$.

Roche (lobe de). Région de l'espace entourant l'une des étoiles constitutives d'un système binaire, dans laquelle cette étoile exerce une attraction gravitationnelle prépondérante.
ENCYCL. Lorsque chacune des composantes du système occupe un volume inférieur à

celui de son lobe de Roche, on dit que le système est *détaché.* Au cours de son évolution, l'une des deux étoiles peut subir une expansion qui amène son volume à dépasser celui de son lobe de Roche : le système devient alors *semi-détaché,* et un transfert de matière s'établit de l'étoile en expansion vers l'autre composante. Si les deux étoiles subissent une expansion qui remplit leur lobe de Roche, le système devient *en contact.* Si cette expansion se poursuit, les noyaux des deux étoiles, où des réactions nucléaires continuent à se produire, partagent une enveloppe commune.

Rockot (mot russe signifiant *rugissement).* Petit lanceur spatial russe.
ENCYCL. Rockot permet de mettre de 250 kg à 1,85 t de charge utile en orbite basse. Son premier lancement (réussi) a eu lieu le 26 décembre 1994 ; il a placé sur orbite le satellite Rosto destiné aux communications entre radioamateurs. Il est commercialisé par la firme germano-russe Eurockot.

Rockwell Corporation, Firme américaine de constructions aéronautiques et spatiales issue de la fusion, en 1967, de la North American Aviation et de Rockwell Standard. Maître d'œuvre de la navette spatiale américaine (après avoir contribué notamment aux programmes Apollo, Skylab et Saturn 5) et le plus important fournisseur de la NASA, Rockwell fournit également l'US Air Force (satellites Navstar).

Rocsat I. Premier satellite taïwanais lancé par les États-Unis le 26 janvier 1999 pour une mission scientifique (océanographie, astronomie et télécommunications).

Rohini (mot hindi signifiant *étoile).* Premiers satellites construits et lancés par l'Inde depuis la base de Sriharikota : Rohini 1B (18 juillet 1980), Rohini 2 (31 mai 1981), Rohini 3 (17 avril 1983). Un premier lancement (Rohini 1A, en 1979) avait échoué.

Romanenko (Iouri), cosmonaute russe (Koltoubanovski, région d'Orenbourg, 1944).
En 1987, à bord de la station Mir, il a été le premier homme à franchir le cap des 300 j en impesanteur, avant de regagner la Terre, le 29 décembre, au terme d'un séjour d'environ 326 j et demi dans l'espace. Avec ses deux précédentes missions dans la station Saliout 6 (96 j en 1977-78 et 7 j en 1980), il totalise ainsi plus de 430 j dans l'espace, un record de durée qu'il a détenu jusqu'en 1991.

Rômer (Olaüs ou Ole), astronome danois (Århus 1644-Copenhague 1710).
Chargé, tout jeune, de classer les manuscrits de Tycho Brahe, il vint à Paris sur les conseils de l'abbé Jean Picard, qui s'était rendu au Danemark en 1671. En observant les immersions et émersions des satellites de Jupiter dans le cône d'ombre de la planète, il mpntra, en 1676, pour la première fois, que la lumière se propage à une vitesse finie. Il construisit plusieurs instruments, notamment la lunette méridienne.

Ronchi (test de) Test permettant de contrôler la qualité optique d'un miroir concave.
ENCYCL. Ce test est utilisé notamment par les astronomes amateurs qui polissent eux-mêmes le miroir primaire de leur télescope. On éclaire le miroir près de son centre de courbure, à l'aide d'une source lumineuse ponctuelle, et on l'observe à travers un réseau de minces traits parallèles tracé sur du verre. Si la surface du miroir est parfaitement sphérique, on voit des bandes rectilignes ; si elle est parabolique, on voit des bandes ondulées.

Roque de los Muchachos (observatoire de). Observatoire international situé sur l'île de La Palma, dans l'archipel des Canaries, sur le mont Roque de los Muchachos, à 2 400 m d'altitude.
ENCYCL. Administré par l'Institut d'astrophysique des Canaries, il abrite des instruments appartenant à différents pays européens : les télescopes William Herschel* (4,2 m de diamètre), Isaac Newton* (2,5 m) et Jacobus Kapteyn (1 m) de l'observatoire de Greenwich* ; un télescope de 2,5 m, le *Nordic Optical Telescope* (NOT), exploité conjointement par la Suède, la Norvège, la Finlande et le Danemark ; une tour solaire suédoise ; et un télescope astrométrique exploité conjointement par le Danemark, l'Espagne

et le Royaume-Uni. Un grand télescope espagnol, le GTC (Gran Telescopio Canarias), doté d'un miroir primaire segmenté de même type que celui des télescopes Keck* et qui aura aussi une ouverture de 10 m, y est en construction.

Rorsat (acronyme de *Radar Océan Reconnaissance SATellite).* Nom donné par les Américains à des satellites de surveillance océanique par radar lancés parl'ex-URSS de 1975 à 1988.

ENCYCL. Destinés à localiser les bâtiments des flottes militaires adverses et à suivre leurs déplacements, les Rorsat étaient lancés par paires et satellisés à 250 km environ d'altitude. Les deux engins formant une paire se suivaient à une vingtaine de minutes d'intervalle sur une même orbite inclinée à 65° sur l'équateur, ce qui leur permettait de déterminer avec précision la vitesse et la direction de déplacement des navires qu'ils repéraient. Équipés d'un radar à impulsions, ils offraient la particularité d'être alimentés en énergie par un réacteur nucléaire à uranium fortement enrichi ; au terme de leur mission (deux mois environ), ce réacteur était détaché du reste du satellite et propulsé à l'aide de petits moteurs-fusées à poudre à une altitude voisine de 1 000 km, afin d'éviter une retombée prématurée de substances radioactives au sol. À trois reprises cependant, avec Cosmos 954 en 1978, Cosmos 1402 en 1982 et Cosmos 1900 en 1988, l'échec de cette procédure et la perte de contrôle du satellite firent naître une certaine inquiétude à l'approche de la rentrée de l'engin dans l'atmosphère.

Rosalind. Satellite d'Uranus (n° XIII), découvert en 1986 par la sonde américaine Voyager 2. Demi-grand axe de son orbite : 69 900 km. Période de révolution sidérale : 13 h 24 min. Diamètre : ~ 60 km.

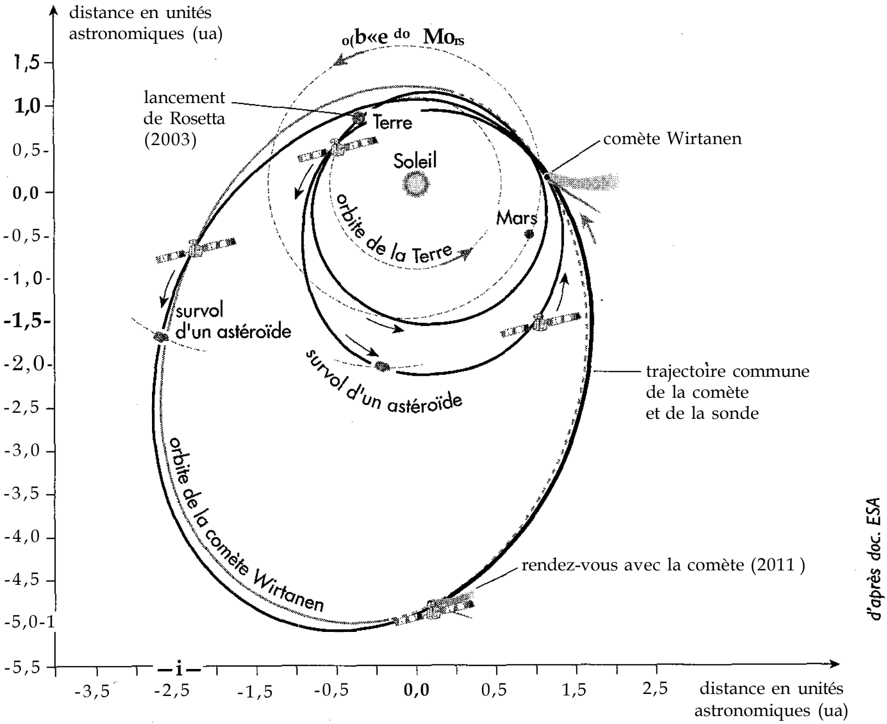
Rosat (acronyme de l'allemand *RÖntgen-SATellit,* en hommage au physicien W. Röntgen, qui découvrit les rayons X en 1895). Satellite allemand d'étude des sources célestes de rayonnement X.

ENCYCL. Fruit d'une collaboration avec les États-Unis et le Royaume-Uni, lancé le 1er juin 1990 par une fusée américaine Delta et placé sur une orbite circulaire à 580 km d'altitude, il emportait un télescope X imageur à incidence rasante de 83 cm de diamètre destiné à la cartographie du ciel dans le domaine des rayons X « mous », à des longueurs d'onde allant de 6 à 100 angstrôms, et une caméra à grand champ opérant entre 60 et 300 angstrôms, à la frontière du domaine X et du domaine ultraviolet. Fonctionnant pendant-4ïuit ans, il a fourni un atlas complet du ciel X, recensant plus de 150 000 sources, et il a effectué de nombreuses découvertes, parmi lesquelles celles d'un amas de quasars très lointain au pôle nord de la Galaxie, d'un reste de supernova dans la constellation du Cocher, et l'identification, dans la constellation des Gémeaux, d'une source déjà connue par son rayonnement gamma et qui restait mystérieuse (Geminga).

Rosetta. Projet de mission d'exploration cométaire de l'Agence spatiale européenne.

ENCYCL. Succédant à Giotto*, qui a survolé successivement la comète de Halley et la comète Grigg-Skjellerup, la sonde Rosetta aura une mission beaucoup plus ambitieuse, consistant à se placer en orbite autour d'un noyau cométaire et à en analyser la surface in situ. Selon le scénario prévu, la sonde sera lancée par une fusée Ariane 5 en janvier 2003 ; après avoir survolé Mars en mai 2005 et être repassée près de la Terre en octobre 2005 puis en octobre 2007 (technique de l'assitance* gravitationnelle), elle s'écartera du Soleil pour aller à la rencontre de la comète Wirtanen*, avec laquelle elle aura rendez-vous le 27 novembre 2011 et qu'elle suivra sur son orbite jusqu'en juillet 2013. Au terme de plusieurs mois de manœuvres de freinage, elle s'approchera à moins de 2 km du noyau de la comète et se placera en orbite autour de celui-ci le 28 mai 2012. Emportant 12 équipements scientifiques, elle effectuera de nombreuses mesures, procédera à une cartographie complète du noyau et observera les modifications d'activité de la comète au fur et à mesure que celle-ci s'approchera du Soleil. Elle larguera aussi sur le noyau cométaire un atterrisseur de 100 kg dont on espère qu'il fonctionnera pendant un mois environ et fournira des informations inédites sur la nature et la

Trajectoire prévue de la sonde européenne **Rosetta**



composition de l'astre. Avant de parvenir près de la comète, la sonde survolera deux astéroïdes de la ceinture principale : Otawara (diamètre inférieur à 20 km) en juillet 2006, et Siwa (110 km de diamètre) deux ans plus tard.

La matière cométaire étant regardée comme la matière solide la plus proche, par ses propriétés, de celle de la nébuleuse dont est issu le système solaire, on attend des mesures qui seront effectuées une bien meilleure compréhension de la formation du système solaire, d'où le nom donné à la mission, par analogie avec la « pierre de Rosette », qui permit à Champollion de déchiffrer les hiéroglyphes égyptiens.

Rosette (nébuleuse de la). Nébuleuse diffuse à émission NGC 2237, dans la constellation de la Licorne.

ENCYCL. Elle forme une auréole lumineuse à peu près circulaire d'environ 80' de diamètre. C'est un vaste nuage d'hydrogène ionisé par le rayonnement ultraviolet des étoiles de l'amas NGC 2244, situé au centre et constitué d'étoiles très jeunes (moins d un million d'années) et très chaudes. Elle renferme aussi une grande quantité de poussières interstellaires. Sa distance est de 4 500 années de lumière.

Rosse (William Parsons, 3e comte de) → **Parsons**

rotation n.f. 1. Mouvement d'un astre autour d'un axe passant par son centre de masse. 2. Mouvement, dans un plan, d'un axe (ligne des apsides, ligne des nœuds d'une orbite) autour d'un point.
Rotation différentielle : -* **différentiel**
Rotation synchrone : **synchrone**

rougissement interstellaire. Modification dans la composition de la lumière parvenant d'une étoile, due à l'absorption sélective des poussières interstellaires, qui laissent passer le rouge mieux que le bleu.

rover (mot anglais signifiant *vagabond)* n.m. Véhicule automobile destiné à l'exploration planétaire, SYN : *astromobile*
ENCYCL. Lors des trois dernières missions du programme Apollo*, les astronautes disposèrent, pour leurs déplacements sur la Lune, d'un véhicule de 3 m de long et 1,8 m de large, le *Lunar Roving Vehicle* ou *Lunar Rover,* familièrement appelé « Jeep lunaire ». Cette automobile ressemblait à un simple « buggy », mais était en fait un véhicule très perfectionné conçu pour opérer dans le vide, sous de larges écarts de température et sur terrain accidenté. Doté de quatre roues motrices munies de « pneus » en treillis d'acier galvanisé tressé à la main et mues par quatre moteurs électriques alimentés par deux batteries zinc-argent de 36 V, il pouvait atteindre une vitesse maximale de 14 km/h et disposait d'une autonomie de 65 km. À pleine charge, il pouvait franchir des crevasses de 70 cm de large, monter ou descendre des pentes à 20°, s'immobiliser sur des pentes à 30°, rouler le long de flancs montagneux à 45°, ou encore franchir des obstacles de 30 cm de haut. Constitué principalement d'aluminium, pour être le plus léger possible, il avait une masse de 217 kg (mais, sur la Lune, compte tenu de la pesanteur réduite, son poids était six fois plus faible que sur la Terre) et pouvait transporter 454 kg.

Dans le cadre du programme soviétique Luna, deux petits véhicules automatiques Lunakhod*, télécommandés depuis la Terre, furent déposés sur la Lune.

Royal Astronomical Society (RAS). Association britannique de spécialistes en astronomie et en géophysique.
ENCYCL. Elle a été fondée en 1820, par un groupe d'astronomes réunis autour de John Herschel, sous le nom de *Astronomical Society ofLondon.*

Royal Astronomical Society of Canada (RASC). Société fondée au Canada en 1890 pour contribuer au progrès de l'astronomie et des sciences connexes. Elle publie un *Journal* et un *Bulletin* bimensuels, ainsi qu'un *Observer's Handbook* annuel. ADRESSE : 136 Dupont Street, Toronto, Ontario, Canada M5R 1V2.

RR Lyrae Lyre

RS Canum Venaticorum. Catégorie d'étoiles variables, à la fois binaires à éclipses et variables hors d'éclipsés.
ENCYCL. Les deux composantes du système binaire sont habituellement des étoiles de type spectral G (parfois F ou K) et présentent une intense activité du type de celle du Soleil. Les variations d'éclat hors d'éclipsés sont attribuées à des sortes d'immenses taches sombres, alternativement visibles et invisibles de la Terre par suite de la rotation de l'étoile. Ces étoiles présentent parfois de puissantes éruptions, analogues à celles que l'on observe sur le Soleil, et la couronne chaude qui les enveloppe constitue une source de rayonnement X.

RTG énergie de bord

Ruchbach (d'une locution arabe signifiant le *genou de la femme sur le trône,* par allusion à la position de l'étoile dans la constellation). Étoile 8 de Cassiopée. Magnitude apparente visuelle : 2,7 (variable). Type spectral : A5. Distance •. 99 années de lumière.

Ruche (la). Autre appellation de *la Crèche,* l'amas stellaire *Praesepe*,* dans le Cancer.

Rudolphines (tables). Tables des positions des planètes publiées par J. Kepler* en 1627.

rupes n.m. (mot latin ; pl. *rupes)* Escarpement, dans la nomenclature internationale du relief des surfaces planétaires.

Rus. Lanceur russe triétage appelé à remplacer les lanceurs Vostok, Molnia et Soyouz.
ENCYCL. Construit, comme les fusées auxquelles il doit succéder, par la firme KB Photon, ce lanceur reprendra les trois étages du

Soyouz, avec une propulsion et un guidage améliorés. Il pourra placer 71 de charge utile en orbite terrestre basse circulaire. En fonction de la charge utile à lancer, trois modèles de coiffe pourront s'y adapter, ayant respectivement 3 m (coiffe du Soyouz), 3,3 m et 3,7 m de diamètre.

Russell (Heniy Norris), astronome américain (Oyster Bay, New York, 1877 - Princeton, New Jersey, 1957). Ses travaux de physique stellaire l'amenèrent à établir, indépendamment de E. Hertzsprung*, une classification des étoiles en fonction de leur luminosité et de leur type spectral, illustrée par le *diagramme* dit *de Hertzsprung-Russell* (1913), universellement utilisé à présent. Il étudia aussi les binaires à éclipses, dont il fut le premier à analyser de façon systématique les variations d'éclat (1912). Il détermina en outre de nombreuses distances stellaires par des méthodes photographiques de mesure de parallaxes.

RV Tauri   Tauri

RV Tauri. Classe d'étoiles variables puisantes très lumineuses.

ENCYCL. Ces étoiles sont des supergéantes de type spectral F, G ou K. Leur éclat varie sur des périodes de 30 à 150 jours et peut fluctuer de quatre magnitudes, avec une alternance de minimums plus ou moins marqués. Elles sont enveloppées d'une énorme atmosphère gazeuse constituant une puissante source de rayonnement infrarouge. L'observation révèle qu'il s'agit d'étoiles âgées éjectant un vent stellaire intense.

Ryle (sir Martin), astrophysicien britannique (Brighton 1918-Cambridge 1984).
Directeur de l'observatoire de radioastronomie Mullard, à Cambridge, à partir de 1959, il a fourni une contribution fondamentale au développement de la radioastronomie, tant par ses observations que par les perfectionnements qu'il a apportés à l'instrumentation. Il est notamment l'inventeur de la technique de la synthèse d'ouverture **(-• radio-interférométrie).** Il a partagé avec Antony Hewish le prix Nobel de physique en 1974.

S

S Doradus. Étoile variable irrégulière très lumineuse de la constellation de la Dorade.
ENCYCL. Située près de l'extrémité nord de la barre médiane du Grand Nuage de Magellan, cette étoile offre un éclat variable entre les magnitudes 8,5 et 9,5. Il s'agit en fait d'une supergéante très massive (sa masse est estimée à 60 fois environ celle du Soleil) et aussi lumineuse qu'une brillante nova*. Comme *P Cygni**, elle possède une succession d'enveloppes gazeuses en expansion.

Sac à Charbon. Vaste nébuleuse obscure de forme ovale, qui s'étend à la frontière des constellations de la Croix du Sud et du Centaure, semblant constituer un trou dans la Voie lactée. Sa distance est de 550 années de lumière.

SAF. Sigle de *Société Astronomique de France.*

SAFER (en anglais, *plus sûr;* sigle de *Simplified Aid for EVA Rescue,* assistance simplifiée pour le sauvetage lors d'une activité extravéhiculaire). Équipement américain donnant une autonomie de déplacement aux astronautes hors de leur vaisseau spatial.
ENCYCL. Semblable à un sac à dos, moins complexe et trois fois plus léger que le MMU* (sa masse n'est que de 37 kg), il est conçu pour permettre aux astronautes de travailler à proximité d'un vaisseau spatial (un orbiteur ou une station orbitale), sans lien et sans risque de s'éloigner irrémédiablement de lui. La propulsion est assurée par 24 petits moteurs à azote. Sa première utilisation expérimentale dans l'espace a eu lieu le 17 septembre 1994, autour de Discovery, lors de la mission STS-64.

Sagan (Cari), astrophysicien américain (Brooklyn 1934-Seattle 1996).
Spécialiste de planétologie et d'exobiologie, il a décrit, dès 1961, à partir d'observations radioastronomiques, les conditions atmosphériques et climatologiques de Vénus, prévoyant l'effet de serre induit par le gaz carbonique de son atmosphère, hypothèses confirmées ultérieurement par l'exploration spatiale. Il a joué un rôle majeur dans la mise au point des programmes américains de sondes planétaires *Viking* et *Voyager* . Il fut aussi un vulgarisateur très apprécié.

Sagitta (-ae). Nom latin de la constellation de la Flèche (abrév. *Sge).*

Sagittaire (en latin *Sagittarius, -h*). La plus australe des constellations zodiacales, entre le Scorpion et le Capricorne.
ENCYCL. Située dans la direction du centre de la Galaxie, elle constitue une région du ciel particulièrement riche en étoiles et en matière interstellaire. Toutefois, l'atténuation de l'éclat des étoiles provoquée par la matière interstellaire explique qu'elle ne renferme aucune étoile très brillante : sa principale étoile est de magnitude 2. On y décèle un grand nombre d'amas stellaires et de nébuleuses (M 8 ou « la Lagune* », M 17 ou « Oméga* », M 20 ou « Trifide* »), observables avec de petits instruments. Le centre de la Galaxie coïncide avec une radiosource compacte *(Sagittarius A)* d'un diamètre inférieur à 20 fois la distance Terre-Soleil. C'est aussi une source de rayonnements y, X et

infrarouge. On ne sait s'il s'agit d'un amas très dense d'étoiles ou d'un trou* noir d'une masse de quelques miËions de fois celle du Soleil.

Sagittarius (-ii). Nom latin de la constellation du Sagittaire (abrév. *Sgr).*

Saha (Meghnad), astrophysicien indien (Dacca 1893-New Delhi 1956). Il a étudié l'effet des hautes températures et des fortes pressions sur les spectres ; il a établi, en 1920, une loi qui règle les équilibres entre les atomes et les ions et détermine, en fonction de la densité, à l'équilibre thermodynamique, la fraction ionisée dans un milieu gazeux. Cette relation a permis, notamment, de classer les étoiles des plus chaudes aux plus froides, d'après leur type spectral.

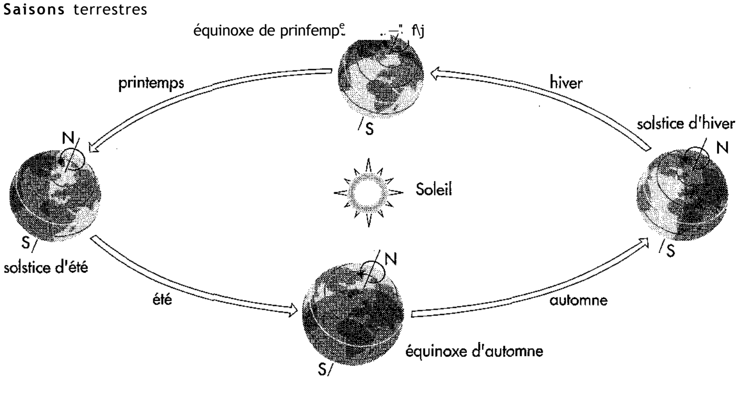
Saïph. Étoile % d'Orion. Magnitude apparente visuelle : 2,1. Type spectral : B0. Distance : 700 années de lumière.

saison n.f. Chacune des quatre parties l'année par les équinoxes et les solstices.
ENCYCL. La division de l'année en saisons résulte de l'inclinaison (23° 26') de l'axe de rotation de la Terre par rapport au plan de son orbite. Comme l'axe des pôles garde au cours de l'année une direction fixe dans l'espace, c'est tantôt le pôle Nord, tantôt le pôle Sud qui est éclairé par le Soleil (*voir* figure), Au solstice de juin, le Soleil passe au zénith du tropique du Cancer et l'hémisphère Nord connaît les jours les plus longs ; au solstice de décembre, il passe au zénith du tropique du Capricorne et c'est l'hémisphère Sud qui connaît les jours les plus longs. Aux équinoxes (mars et septembre), le Soleil se trouve exactement dans le plan de l'équateur de sorte qu'en tout point du globe le jour et la nuit ont une durée égale. Le phénomène des saisons est commun à toutes les planètes dont l'axe de rotation n'est pas perpendiculaire au plan de l'orbite. Sur Mars, il se traduit, notamment, par une variation importante de l'étendue des calottes polaires.

Sakigake (mot japonais signifiant *pionnier).* Sonde japonaise d'exploration du milieu interplanétaire et de la comète de Halley.
ENCYCL. Lancée le 8 janvier 1985, cette sonde emportait un magnétomètre, un détecteur d'ondes de plasma et un analyseur d'ions et elle a étudié les caractéristiques du vent solaire et du champ magnétique interplanétaire avant de traverser en mars 1986 la queue de plasma de la comète, à quelque 6 millions de kilomètres de son noyau.

Saliout (mot russe signifiant *salut).* Stations orbitales lancées entre 1971 et 1982 par l'URSS.
ENCYCL. De forme cylindrique (longueur : environ 15 m, diamètre maximal : environ 4 m), ces stations pesaient 19 t et offraient un volume habitable d'environ 100 m³. Elles étaient mises en orbite basse (entre 200 et 350 km d'altitude), sans occupant, par des lanceurs Proton. Les cosmonautes les rejoignaient ou en revenaient au moyen de cap-

Saisons terrestres



suies récupérables, les vaisseaux Soyouz, tandis que des vaisseaux automatiques Progress assuraient périodiquement le ravitaillement (à partir de Saliout 6 seulement).

SALIOUT 1. Satellisée le 19 avril 1971, cette première station spatiale (lancée deux ans avant le Skylab des États-Unis) est occupée en juin pendant 23 jours par trois cosmonautes. Le 11 octobre, sur télécommande du centre de contrôle, elle se désagrège dans l'atmosphère après environ 2 800 révolutions terrestres.

SALIOUT 2. Lancée le 3 avril 1973, elle ne reçoit aucun équipage. Elle se désagrège dans l'atmosphère le 28 mai suivant.

SALIOUT 3. Lancée le 25 juin 1974, elle est occupée pendant deux semaines, en juillet, par deux cosmonautes. Elle est détruite dans l'atmosphère, sur ordre de télécommande, le 24 janvier 1975.

SALIOUT 4. Lancée le 26 décembre 1974, elle est occupée à deux reprises l'année suivante (un mois, puis deux mois). Le 3 février 1977, après plus de 12 000 révolutions, elle est volontairement détruite dans l'atmosphère.

SALIOUT 5. Lancée le 22 juin 1976, elle est occupée à deux reprises (46 j en 1976 et 18 j en 1977). Le 8 août 1977, après 6 630 révolutions autour de la Terre, elle se désagrège dans l'atmosphère.
Avec Saliout 5 s'achève la première génération des stations spatiales soviétiques dotées d'un unique collier d'amarrage auquel la capsule de l'équipage visiteur restait accrochée tout au long du séjour, empêchant tout ravitaillement : les cosmonautes devaient apporter avec eux la quantité suffisante de nourriture et d'eau, et la durée de la mission s'en trouvait nécessairement limitée. Les deux stations suivantes, de deuxième génération, posséderont chacune deux colliers d'amarrage.

SALIOUT 6. Lancée le 29 septembre 1977, cette station est la première de la série à connaître une intense activité. En moins de cinq ans, 31 vaisseaux s'y amarrent : 16 Soyouz transportant 33 cosmonautes, 3 engins automatiques et 12 Progress contenant près de 20 t de fret divers.
Cinq équipages y ont séjourné pendant de longues périodes (respectivement 96, 139, 175, 184 et 74 j) et onze autres équipages (dont huit avec un cosmonaute non soviétique) y ont travaillé environ une semaine. Au total, Saliout 6 aura été occupée pendant 676 j et plus de 1 600 expériences et observations diverses y auraient été effectuées (astronomie, médecine, biologie, télédétection, technologie, etc.). Le 29 juillet 1982, les Soviétiques provoquent sa destruction dans l'atmosphère terrestre.

SALIOUT 7. Lancée le 19 avril 1982, elle n'est véritablement exploitée que pendant les quatre premières années durant lesquelles s'amarrent dix vaisseaux Soyouz T (transportant 26 cosmonautes) et quinze vaisseaux automatiques (12 Progress et 3 Cosmos). Quatre séjours de longue durée y sont effectués (211, 149, 237 et 168 j). Mais, à partir de 1986, elle est délaissée au profit de la nouvelle station Mir, satellisée le 19 février de cette année-là. La station Saliout 7, accrochée au module Cosmos 1686, aussi volumineux qu'elle, se désagrégera en rentrant dans l'atmosphère le 7 février 1991.

salle blanche. Local dépoussiéré et climatisé, où sont exécutées certaines opérations de fabrication, de montage, de démontage ou d'essai de matériel dont on exige une grande fiabilité, SYN : *chambre propre*

SAMOS (sigle de *Satellite And Missile Observation System),* programme américain de surveillance photographique militaire au moyen de satellites polaires.
ENCYCL. Une vingtaine de satellites auraient été lancés entre octobre 1960 et janvier 1963 dans le cadre de ce programme, mais souvent répertoriés sous d'autres noms. Us retransmettaient leurs images par radio au moment du survol des Etats-Unis. Par la suite, ces missions ont été confiées à d'autres catégories d'engins (Big Bird, I<H, etc.).
Samos 2, lancé le 31 janvier 1961, est considéré comme le premier satellite héliosynchrone du monde.

San Marco (nom italien du saint patron des navigateurs). Nom donné à la fois à une plate-forme italienne off shore de lancement spatial et à une famille de satellites scientifiques italiens.

ENCYCL. Installée en 1964 à 5 km au large de la côte du Kenya, par 2,9° de latitude sud et 40,2° de longitude est, la plate-forme San Marco mesure 90 m de longueur sur 27 m de largeur et pèse 3 0001. Elle est maintenue au-dessus du niveau de la mer par vingt piliers qui prennent appui au fond de l'eau, et elle supporte une tour métallique de 26 m de hauteur, conçue pour le lancement de fusées américaines Scout. Sa proximité de l'équateur en fait un site privilégié pour la mise en orbite de satellites équatoriaux ; elle permet, lors des lancements, de bénéficier du surcroît d'accélération dû à la rotation terrestre.

À 500 m de distance, une autre plate-forme, de dimensions plus réduites, Santa Rita, supporte tous les équipements de servitude pour la surveillance des lancements : centre de contrôle, installations de télémétrie et de télémesure, etc.

Les deux plates-formes sont la propriété du Centre de recherches aérospatiales de l'université de Rome.

Le premier lancement de satellite depuis la plate-forme San Marco a eu lieu le 26 avril 1967 (v. ci-dessous). Il a été suivi de sept autres lancements réussis (dont celui du premier satellite américain lancé d'une base n'appartenant pas aux États-Unis, Explorer 42 alias Uhuru, le 12 décembre 1970) jusqu'en 1974, puis la plate-forme est restée inutilisée jusqu'en 1988.

Les satellites San Marco ont longtemps représenté l'essentiel du programme spatial italien. Cinq ont été lancés, de 1964 à 1974, pour des missions scientifiques concernant l'étude de l'atmosphère et la géophysique. Le premier, San Marco 1, fut lancé de la base de Wallops Island, aux États-Unis ; les autres, de la plate-forme San Marco, respectivement en 1967, 1971, 1974 et 1988. San Marco 2 fut le premier satellite lancé de la plate-forme du même nom.

Sandage (Allan Rex), astrophysicien américain (Iowa City 1926).

Ses premiers travaux ont porté sur les amas globulaires, l'évolution des étoiles et la structure de la Galaxie. En 1960, il découvrit le premier quasar ; il s'est consacré ensuite à l'étude de ce nouveau type d'astres.

Sânger. Projet allemand de navette spatiale biétage à décollage et atterrissage horizontaux.

ENCYCL. Le premier étage serait un avion hypersonique de 84,5 m de long et 41,5 m d'envergure pesant 149 t à vide et 345 t au décollage, doté de moteurs combinés turbostatoréacteurs à hydrogène liquide et volant à une vitesse de croisière de Mach 4,4. Cet étage serait surmonté, selon les missions, soit d'une navette habitée, appelée HORUS (Hypersonique ORbital Upper Stage) pouvant emporter dans l'espace, pour un vol de 48 h, deux astronautes et 3 t de charge utile, soit d'un vaisseau-cargo CARGUS (CARGo Upper Stage) pouvant emporter de 10 à 15 t de charge utile en orbite basse. Le deuxième étage se séparerait du premier à 31 km d'altitude, lorsque la vitesse de l'avion porteur atteindrait Mach 6,6, puis serait injecté sur une orbite de transfert elliptique, circularisée ensuite à 450 km d'altitude.

Ce système de transport spatial a été retenu comme concept de référence pour un programme national allemand de technologie hypersonique. Il pourrait être opérationnel durant la première décennie du xxie siècle.

SAR (sigle de l'angl. *Synthetic Aperture Radar,* radar à antenne synthétique ou radar à synthèse d'ouverture). Capteur actif utilisé en télédétection spatiale.

ENCYCL. C'est un radar à visée latérale dont le fonctionnement en vol équivaut à celui d'une antenne virtuelle plus grande que l'antenne réelle et conduit à une résolution accrue. Il a été installé sur des sondes (Venera 15 et 16, Magellan...) et sur des satellites océanographiques (comme Seasat et ERS 1 et 2).

saros n.m. Période de 18 ans 11 jours (ou 18 ans 10 jours s'il y a 5 années bissextiles dans l'intervalle) qui règle approximativement le retour des éclipses de Soleil et de Lune.

ENCYCL. Cette période comprend 223 lunaisons, temps équivalent à 242 révolutions draconitiques, ou encore à 19 fois l'intervalle de 346,6 j (soit 11,74 lunaisons) qui sépare deux passages du Soleil par le nœud lunaire. Dans cette période, il y a en

moyenne 84 éclipses : 42 de Soleil et 42 de Lune.

Sarsat -t Cospas-Sarsat

SAS (sigle de *Small Astronomy Satellite,* petit satellite d'astronomie). Nom donné à trois satellites américains de la famille Explorer* lancés respectivement en 1970,1972 et 1975 et consacrés à l'astrophysique des hautes énergies.

sas n.m. Compartiment muni de deux portes étanches utilisé par les spationautes pour quitter l'habitacle pressurisé de leur vaisseau spatial et effectuer une sortie extravéhiculaire dans le vide.

Satel Conseil. Organisme public français pour l'ingénierie des systèmes de télécommunications par satellite.
ENCYCL. Satel Conseil est un groupement d'intérêt économique fondé en 1978 par le Centre national d'études spatiales, la Direction générale des télécommunications (via sa filiale France Câbles et Radio) et TéléDiffusion de France. Il fournit des services de consultant international pour les systèmes de télécommunications et de radiodiffusion par satellite et assure l'ingénierie complète de tels systèmes, depuis les études préliminaires incluant la planification du réseau jusqu'à la réalisation, le lancement, la réception en orbite et l'exploitation des satellites.
ADRESSE : 5, rue Louis-Lejeune, 92128 Montrouge cedex.

satellisation n.f. Opération consistant à propulser un engin sur une trajectoire fermée autour d'un astre pour qu'il en devienne le satellite artificiel.
ENCYCL. Le concept de satellisation est envisagé pour la première fois à la fin du XVIIe siècle par le physicien anglais Isaac Newton. S'interrogeant sur la cause de la chute des corps et du mouvement de la Lune (notre unique satellite naturel), Newton découvre et met en équations le phénomène de gravitation universelle. En particulier, il imagine l'expérience qui consisterait à lancer un objet, depuis le sommet d'une montagne, avec une vitesse horizontale croissante. Aux vitesses relativement faibles, l'objet retomberait toujours sur terre, mais de plus en plus loin selon l'intensité de l'impulsion initiale. Puis, au-delà d'une certaine vitesse (qu'on dirait, aujourd'hui, de satellisation), l'objet ne percuterait plus le sol mais contournerait le globe terrestre avant de revenir à son point de départ et de poursuivre ainsi, indéfiniment, son mouvement : il serait devenu un satellite artificiel capable de se maintenir naturellement (c'est-à-dire sans faire usage du moindre moteur) en orbite terrestre.
En réalité, la résistance de l'air rend impossible toute satellisation au voisinage du sol et aucune montagne n'est suffisamment élevée pour nous soustraire à l'atmosphère terrestre.
L'idée était trouvée, mais, faute des moyens techniques appropriés, elle resta un rêve pendant très longtemps : les lanceurs spatiaux ne seront mis au point qu'au milieu du XXe siècle.
Dans le cas d'un satellite artificiel terrestre, le rôle du lanceur consiste à transporter sa charge utile au-delà de l'atmosphère et à lui donner la vitesse horizontale nécessaire. En fait, il lui communique à la fois une énergie potentielle (en accroissant sa distance au centre du globe) et une énergie cinétique (en augmentant sa vitesse). Pour y parvenir, il consomme énormément d'énergie en peu de temps (de dix à vingt minutes, selon les cas) : pour satelliser une charge utile d'une tonne en orbite basse, un lanceur brûle en moyenne de cinquante à cent tonnes d'ergols.^
La réussite de la satellisation implique le respect de conditions précises :
- l'injection sur orbite du satellite doit être effectuée au-dessus des couches denses de l'atmosphère, en pratique au moins à 200 km d'altitude ;
- la vitesse (convenablement orientée) doit avoir l'intensité voulue, généralement comprise entre 7,8 et 11 km/s (selon l'altitude et la trajectoire visée). En deçà de 7,8 km/s, l'engin retombe sur le sol ; au-delà de 11 km/s, il quitte le voisinage de la Terre et devient une sonde spatiale.
Point important : la valeur de cette vitesse de satellisation est indépendante de la masse à satelliser. Qu'il s'agisse d'un microsatellite

de 15 kg ou d'une station orbitale de 201, elle reste la même.

satelliser v.t. Placer un véhicule spatial en orbite autour d'un astre.

satelliser (se) v.pr. Devenir le satellite d'un astre.

satellitaire adj. Qui concerne les satellites artificiels ou est fondé sur leur utilisation (par exemple la télédétection satellitaire, l'imagerie satellitaire, le suivi satellitaire).

satellite n.m. Corps en mouvement orbital autour d'une planète.
ENCYCL. On connaît une soixantaine de satellites naturels dans le système solaire : 1 (la Lune) autour de la Terre, 2 autour de Mars, 16 autour de Jupiter, 18 au moins autour de Saturne, 18 autour d'Uranus, 8 autour de Neptune et 1 autour de Pluton.

satellite à défilement. Satellite artificiel qui se déplace par rapport au sol, contrairement aux satellites géostationnaires, qui, pour un observateur terrestre, demeurent fixes dans le ciel. En raison de la rotation de la Terre, la trace au sol de l'orbite d'un satellite à défilement se décale régulièrement vers l'ouest au fil des révolutions.

satellite artificiel (du latin *satellitis*, escorte, garde du corps). Objet de fabrication humaine gravitant autour d'un corps céleste (Soleil, planète ou satellite naturel).
ENCYCL. Le premier satellite artificiel de la Terre, Spoutnik 1, a été mis sur orbite le 4 octobre 1957 par l'ex-URSS. Depuis cette date, près de quatre mille autres satellites ont été lancés par une dizaine de puissances spatiales, non seulement autour de la Terre, mais aussi :
- du Soleil (premier lancement : Lunik 1, Union soviétique, 2 janvier 1959) ;
- de la Lune (premier lancement : Luna 10, Union soviétique, 31 mars 1966) ;
- de la planète Mars (premier lancement : Mariner 9, États-Unis, 30 mai 1971) ;
- de la planète Vénus (premier lancement : Pioneer-Venus 1, États-Unis, 20 mai 1978).

ORBITES. La plupart des satellites artificiels de la Terre décrivent des orbites à défilement qui diffèrent les unes des autres par la valeur de leurs éléments orbitaux (inclinaison, excentricité, demi-grand axe, etc.). Cependant, certains d'entre eux parcourent des orbites particulières qui leur confèrent des propriétés exceptionnelles nécessaires à leur mission. Tel est le cas des satellites héliosynchrones (premier lancement : Samos 2, États-Unis, 31 janvier 1961) et des satellites géostationnaires (premier lancement : Syncom 3, États-Unis, 19 août 1964).

UTILISATIONS. L'ensemble des satellites lancés depuis 1957 se répartit très inégalement entre ceux utilisés à des fins militaires (environ 75 % du total) et les autres (applications civiles et recherche scientifique).
La majeure partie de leurs nombreuses applications peut se ranger en quatre catégories principales définies à partir de la fonction remplie par le satellite dont on utilise : soit la position élevée (pour les télécommunications et l'observation de la Terre, au sens large : télédétection, surveillance et reconnaissance militaires, météorologie, géodésie, géophysique, collecte de données, localisation, navigation, etc.) ; soit la situation extra-atmosphérique (pour la recherche scientifique, notamment l'astronomie) ; soit l'aptitude au déplacement dans le vide (pour l'exploration planétaire) ; soit le mouvement de chute libre et l'impesanteur qui en résulte (pour les recherches en micropesanteur).

ANATOMIE. Quelle que soit leur mission, les satellites artificiels se composent tous d'un certain nombre d'éléments, appelés systèmes ou sous-systèmes, qui concourent à leur bon fonctionnement durant leur vie orbitale. Il s'agit de la structure, de tous les ensembles mécaniques remplissant des fonctions statiques ou dynamiques (telles que le déploiement et l'orientation de panneaux solaires, le pointage fin d'antennes, etc.) et des équipements assurant la régulation thermique ; la génération, le stockage et la distribution d'énergie ; la correction ou la modification d'orbite ; la stabilisation ; la télémesure, la télécommande et la gestion des données à bord.

La structure assure l'interface avec le lanceur, supporte les divers équipements et joue un rôle d'écran protecteur contre les rayonnements et les micrométéorites. Elle est essentiellement conçue en fonction de la

mission du satellite, de la masse à supporter et des contraintes mécaniques imposées par le lanceur. Sa conception fait appel à des logiciels spécialisés. En général, on utilise pour sa construction des alliages légers à base d'aluminium, de magnésium, de titane ou des matériaux composites. Tous les modes de fabrication (usinage mécanique, moulage, forgeage) ou d'assemblage (soudage, rivetage, collage) peuvent intervenir. Des méthodes d'essais statiques et dynamiques très élaborées permettent de soumettre les modèles à des contraintes et à des ambiances représentatives de celles qui seront rencontrées lors de la mission.

DURÉE DE VIE. Les deux tiers des sateËites mis sur orbite depuis 1957 n'existent plus aujourd'hui : ils se sont consumés en rentrant dans l'atmosphère terrestre. **débris spatiaux**

La majorité de ceux qui sont encore dans l'espace (soit de l'ordre d'un millier) sont à présent inactifs et « muets », leurs instruments ayant cessé de fonctionner. En effet, on estime qu'environ quatre cents satellites artificiels seulement (dont près de la moitié géostationnaires) sont actuellement en service. Et ce nombre ne s'accroît que lentement dans la mesure où la plupart des nouveaux venus (lancés au rythme moyen d'une petite centaine chaque année) ne possèdent qu'une courte durée de vie.

Pour tout satellite, on distingue :

- sa durée de vie utile, qui est la période de fonctionnement nominal de sa charge utile et de ses divers éléments (au maximum une quinzaine d'années pour les satellites géostationnaires et certaines sondes spatiales, mais environ quatre fois moins pour les satellites héliosynchrones) ;
- sa durée de vie sur orbite, qui correspond à sa présence dans l'espace, en tant qu'objet, quel que soit son état. Dans le cas des satellites terrestres, elle est directement liée à leur altitude. Voici quelques ordres de grandeur (valables pour des orbites circulaires) : quelques jours à 200 km, quelques années à 400 km, quelques siècles à 800 km, plus d'un million d'années à 36 000 km.

VISIBILITÉ. L'observation visuelle, à l'œil nu, de certains satellites artificiels - notamment les plus proches du sol - est possible dès lors que sont réunies certaines conditions d'ëclairement : l'observateur doit se trouver plongé dans l'obscurité tandis que le satellite, lui, doit être éclairé par le Soleil, ce qui est réalisé chaque jour à deux reprises, après le coucher et avant le lever du Soleil. De plus, quelques précautions élémentaires s'imposent : rechercher un site à l'écart des lumières parasites de la ville, éviter les périodes de pleine Lune, choisir un ciel sans nuage, etc. Dans ces conditions, il est courant d'observer jusqu'à une dizaine de satellites en moins d'une heure. Leur aspect est toujours ponctuel : ils ressemblent à une étoile blanchâtre qui serait animée d'un mouvement rectiligne et régulier sur la voûte céleste. Leur vitesse angulaire est comparable à celle des avions (d'où de fréquentes méprises). La durée d'un passage, variable avec l'altitude de l'orbite, n'excède généralement pas quelques minutes.

Saturn. Lanceurs spatiaux américains développés pour les besoins du programme Apollo*.

ENCYCL. La fusée Saturn 1, modèle purement expérimental à 2 étages, était destinée à tester un premier étage de forte poussée, comprenant un faisceau de 8 moteurs de 850 kN de poussée, et un second étage S-4 à hydrogène liquide. Haute de 50 m, elle avait une masse de 510 t au départ. Son premier tir eut lieu le 27 octobre 1961. Neuf autres lancements de cette fusée eurent lieu jusqu'en 1965.

Saturn 1-B était destinée à l'expérimentation sur orbite terrestre basse des éléments du vaisseau Apollo. D'une masse de 590 t, pour une hauteur de 68 m, elle différait de Saturn 1 par son second étage S-4B et pouvait placer sur orbite 18 t de charge utile. Neuf exemplaires ont volé entre 1966 et 1975, d'abord pour le programme Apollo, puis pour les missions habitées Skylab et le vol Apollo-Soyouz. La fusée Saturn, 5, fusée géante de 110 m de hauteur, d'une masse de 2 700 t au décollage, développant 34 000 kN de poussée au départ (5 moteurs F-l de 6 800 kN de poussée chacun, les plus puissants jamais construits), était capable de placer une charge de 140 t sur orbite terrestre, et d'envoyer vers la Lune les 45 t du vaisseau Apollo complet. Son premier lancement intervint le 9 novembre 1967. Elle a

servi au total 13 fois, dont la dernière pour satelliser la station orbitale américaine Skylab, en 1973.

Saturne (nébuleuse). Nébuleuse planétaire NGC 7009, dans la constellation du Verseau, dont l'aspect rappelle celui de la planète Saturne. Elle résulte vraisemblablement de plusieurs éjections successives de matière par l'étoile, située au centre

Saturne. Planète du système solaire, située au-delà de Jupiter*.
ENCYCL. Comme Jupiter, Saturne n'a pas de surface solide et est entourée d'une atmosphère épaisse, à base d'hydrogène et d'hélium auxquels s'ajoutent du méthane et de l'ammoniac, qui sont probablement les composants majeurs des nuages. Au sommet des nuages, la température varie entre -181 °C et -191 °C. La circulation atmosphérique s'apparente à celle de Jupiter, avec des courants horizontaux est-ouest de sens contraires, mais la vitesse des vents décroît de l'équateur (1 800 km/h) vers les pôles et s'annule pratiquement vers 40° de latitude.
STRUCTURE INTERNE. Elle s'apparente à celle de Jupiter, mais la plus forte proportion d'hydrogène se traduit pour Saturne par une densité moyenne plus faible (0,69, la densité de l'eau étant prise pour unité). La majeure partie du globe serait constituée d'un mélange d'hydrogène et d'hélium, d'abord liquides jusque vers 30 000 km de profondeur puis sous une phase métallique. La lente migration de l'hélium, plus lourd que l'hydrogène, vers les régions profondes, constitue une source d'énergie interne susceptible d'expli quer pourquoi Saturne émet 3 fois plus d'énergie qu'elle n'en reçoit du Soleil. Au centre existerait un noyau dense, rocheux, d'environ 12 000 km de rayon et d'une masse égale à 25 fois celle de la Terre.
CHAMP MAGNÉTIQUE. Saturne possède un

CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES DE SATURNE

diamètre équatorial	120 536 km (9,45 fois celui de la Terre)
diamètre polaire	108 724 km
aplatissement	0,098
masse par rapport à celle de la Terre	95,16
densité moyenne	0,69
accélération de la pesanteur à l'équateur	0,92 fois celle de la Terre
vitesse de libération	35,5 km/s
période de rotation sidérale	10 h 14 min à 10 h 39 min
inclinaison de l'équateur sur orbite	26° 44'
albédo	0,45
intensité du champ magnétique	2,2-10"5 T (à l'équateur, au niveau de la couverture nuageuse)

CARACTÉRISTIQUES ORBITALES DE SATURNE

demi-grand axe de l'orbite	1 429 400 000 km, soit 9,5547 ua
distance maximale au Soleil	1 511 000 000 km
distance minimale au Soleil	1 346400 000 km
excentricité	0,056
inclinaison sur l'écliptique	2° 29'
période de révolution sidérale	29 ans 167 j
vitesse orbitale moyenne	9,64 km/s
période de révolution synodique	1 an 13 j
distance maximale à la Terre	1 650 000 000 km
distance minimale à la Terre	1 200 000 000 km

champ magnétique dipolaire, découvert en 1979 par la sonde Pioneer 11, dont l'axe est presque confondu avec l'axe de rotation de la planète.

LES ANNEAUX. L'une des particularités de Saturne tient au vaste système d'anneaux qui l'entoure, découvert par C. Huygens* en 1655. Ce système s'étend, dans le plan équatoriai de la planète, jusqu'à plus de 300 000 km du centre de Saturne, mais avec une épaisseur inférieure à 1 km. Jusqu'à la fin des années 1960, on considérait que les anneaux étaient au nombre de trois, séparés par deux divisions, soit, de l'extérieur vers l'intérieur : l'anneau A (rayons extrêmes : 136 200 à 121 000 km du centre de Saturne) ; la division de Cassini (largeur : 4 500 km) ; l'anneau B, nettement le plus brillant (rayons extrêmes: 117 500 à 92 200 km) ; la division de Lyot (largeur : 4 200 km) ; l'anneau C, ou anneau de crêpe (rayons extrêmes : 89 300 à 73 000 km) ; une division interne (division d'Encke) séparant, en outre, deux parties d'éclat un peu différent dans l'anneau A.

En 1969, le Français Pierre Guérin, sur des photographies prises au pic du Midi (en masquant le disque de Saturne), a décelé un anneau intérieur supplémentaire, l'anneau D, très pâle. Puis, en 1979, la sonde américaine Pioneer 1 i a découvert l'anneau F, qui s'étend sur une largeur inférieure à 1 000 km, à une distance moyenne de 141 000 km du centre de Saturne, séparé de l'anneau A par une division large de 4 000 km désignée sous le nom de *division Pioneer;* peu après, le Français Audouin Dollfus et son assistant Serge Brunier ont mis en évidence un anneau encore plus extérieur, l'anneau E. Les photographies à haute résolution recueillies en 1980 et 1981 par les sondes américaines Voyager ont révélé que les anneaux observés de la Terre se subdivisent, en fait, en une multitude de fins annelets. Ceux-ci sont constitués de blocs de glace « sale » (glace mêlée à des poussières, des fragments minéraux, etc.) qui gravitent indépendamment sur des orbites voisines, comme autant de petits satellites. Ils se différencient principalement par la densité de matière et les dimensions des corps qu'ils renferment (de quelques micromètres à plusieurs mètres). Sur les photographies spatiales, de nombreuses irrégularités y apparaissent : variations d'épaisseur, hétérogénéités dans la distribution de matière, longues structures radiales temporaires tournant avec le champ magnétique, etc.

Pour certains, les anneaux seraient issus du morcellement d'un ou de plusieurs gros satellites qui, gravitant à proximité immédiate de Saturne, se brisèrent sous l'effet des forces de marée auxquelles ils étaient soumis. Pour d'autres, il s'agit plutôt de résidus de formation de la planète elle-même. Mais les deux processus ont pu se conjuguer.

LES SATELLITES. On a identifié autour de Saturne une vingtaine de satellites (en 1995, 18 officiellement, et peut-être 2 ou 4 nouveaux décelés sur des photographies mais dont l'existence reste à confirmer). Le plus gros, Titan*, avec un diamètre de plus de 5 000 km, a les dimensions d'une planète ; les plus petits n'excèdent pas une dizaine de kilomètres de rayon. Certains se trouvent en bordure d'anneaux dont ils confinent la matière entre d'étroites limites (« satellites bergers »). D'autres décrivent la même orbite qu'un satellite plus gros (satellites lagrangiens*) ; d'autres enfin suivent des trajectoires très voisines et voient leur mouvement perturbé par leur attraction mutuelle (satellites coorbitaux). L'exploration spatiale de Saturne et de son satellite Titan se poursuivra en 2004 avec la mission américano-européenne CassiniVHuygens*.

saturnien, enne adj. De Saturne.

sauvegarde n.f. Sur une base de lancement, ensemble des moyens permettant de garantir l'intégrité des personnes et • des biens.

ENCYCL. On distingue la sauvegarde « sol » et la sauvegarde « vol ». Cette dernière représente l'ensemble des moyens mis en œuvre pour suivre l'évolution d'un lanceur et procéder à sa destruction en cas de nécessité : en fonction des informations qu'il reçoit en temps réel, le responsable sauvegarde vol peut, à tout instant, décider de détruire un lanceur en lui adressant l'ordre de télécommande approprié.

Savitskaïa (Svetlana), cosmonaute russe (Moscou 1948).

Elle a participé à deux missions dans la station orbitale Saliout 7 : la première, du 20 au 27 août 1982, lui valut de devenir la deuxième femme au monde à accomplir un vol dans l'espace (dix-neuf ans après sa compatriote V. Terechkova) ; au cours de la seconde, du 18 au 29 juillet 1984, elle fut la première femme à effectuer une sortie extravéhiculaire, d'une durée de 3 h 35 min.

scanneur (de l'angl. *to scan,* explorer, balayer) n.m. Capteur de rayonnement électromagnétique capable, grâce à un dispositif adapté, de balayer les lignes d'un paysage afin d'en obtenir une image. Le balayage le long des colonnes, donnant les lignes successives de l'image, est obtenu par le déplacement naturel du satellite, SYN : *radiomètre à balayage*

SCAO (sigle de Système de Commande d'Attitude et d'Orbite). Ensemble d'équipements et de logiciels de bord qui assure le pilotage d'un engin spatial en vue *de* lui imposer l'attitude voulue et d'ajuster son orbite aux exigences de sa mission.

scaphandre (spatial). Vêtement pressurisé hermétique que doivent porter les spationautes, par sécurité, dans certains vaisseaux spatiaux ou, pour assurer leur survie, lors de sorties extravéhiculaires.

ENCYCL. Le rôle de tout scaphandre spatial consiste à protéger l'organisme contre la dépressurisation du milieu ambiant ; à permettre la respiration en fournissant de l'oxygène et en éliminant le gaz carbonique ; et à maintenir une température et une humidité données. Le scaphandre destiné aux sorties extravéhiculaires doit, en outre, protéger des chocs de micrométéorites ; isoler le spationaute des sources de chaleur extérieures ; assurer une protection contre les radiations ; et garantir la liaison avec le vaisseau.

Les scaphandres de sortie confèrent à ceux ou à celles qui les portent une autonomie presque totale pour une période de plusieurs heures. Ils comprennent généralement : un sous-vêtement parcouru par un réseau de petites canalisations où circule un fluide de refroidissement ; un torse rigide auquel sont fixés des bras souples de longueur ajustable ; une partie souple venant se fixer sous le torse et recevant le bassin et les jambes de longueur réglable ; des gants ; un casque avec une visière amovible de protection contre les rayons ultraviolets solaires ; un système d'alimentation en oxygène et de régulation thermique, fixé sur le dos ; un boîtier de contrôle et de commande placé sur la poitrine. L'atmosphère interne est constituée d'oxygène pur sous pression réduite (environ 0,4 bar), de manière à favoriser la souplesse du scaphandre. Les liaisons avec le vaisseau sont assurées soit par radio, soit par un cordon ombilical. Un module de propulsion piloté par l'astronaute peut être adjoint au scaphandre, de manière à permettre des évolutions autonomes jusqu'à quelques dizaines ou centaines de mètres du vaisseau spatial. -* **Ikarus, MMU**

La protection du spationaute contre l'extérieur est assurée par plusieurs couches de matériaux souples : Nylon, caoutchouc synthétique (pour assurer l'étanchéité), tissu polyester (pour maintenir la pression), Mylar revêtu d'aluminium *(couche de* protection thermique, antichocs et antiradiations), etc.

Les scaphandres utilisés sur la Lune par les astronautes du programme Apollo* ne comportaient pas moins de 14 couches superposées. À bord de la navette spatiale américaine, les astronautes ne portent qu'une combinaison de vol ; l'usage du scaphandre (131 kg) est réservé aux sorties extravéhiculaires. Dans les vaisseaux russes Soyouz, en revanche, les cosmonautes portent toujours un scaphandre, en prévision d'un incident grave de dépressurisation.

Le scaphandre américain comprend quatre parties distinctes : le pantalon, la veste, le casque et les gants. Dans le scaphandre russe, le corps et le casque sont constitués d'une seule structure métallique. Le cosmonaute pénètre à l'intérieur du scaphandre par une ouverture située à l'arrière de cette structure rigide. Il introduit successivement les jambes, les bras, puis la tête, avant de refermer et de verrouiller l'ouverture ; c'est le bloc contenant 1s système autonome de survie qui constitue la « porte hermétique » du scaphandre.

Les scaphandres ne sont pas faits sur mesure. Des éléments intermédiaires permettent de les ajuster, dans certaines limites, à la

taille du spationaute. Seuls les gants sont spécialement adaptés.

Scarab (acronyme de l'angl. *SCAnner for RAdiation Budget,* radiomètre à balayage pour le bilan radiatif). Radiomètre multibande réalisé dans le cadre d'une coopération entre les agences spatiales française (CNES), russe (RKA) et allemande (DARA) et destiné à mesurer le bilan radiatif de la Terre.

ENCYCL. Un premier exemplaire, emporté le 25 janvier 1994 par le satellite météorologique russe Meteor 3-7, est tombé en panne en avril 1995. Un deuxième exemplaire a été lancé le 10 juillet 1998 sur un satellite russe Ressource.

scène SPOT. 1. Ensemble de lignes consécutives (6 000 en mode panchromatique ou 3 000 en mode multibande) de données image extrait d'un segment de prise de vue effectuée par l'un des satellites SPOT, repéré par rapport à une grille de référence et accompagné des données auxiliaires nécessaires à l'exploitation des données image (étalonnage, attitude du satellite, etc.).

ENCYCL. Enregistrée en neuf secondes à bord du satellite, une scène SPOT comporte 27 millions de mesures (en mode multibande) ou 36 millions de mesures (en mode panchromatique). Elle est proposée aux utilisateurs sous différentes formes : film ou papier photographique, bande magnétique, cédérom.

Les satellites SPOT sont dimensionnés pour fournir environ 900 000 scènes par an.

2. Zone couverte au sol correspondante (60 km x 60 km, en visée verticale).

Schatzman (Évry), astrophysicien français (Neuilly-sur-Seine 1920).

Il a créé à la Sorbonne, en 1954, la première chaire d'astrophysique de France. Théoricien, spécialiste des problèmes concernant la nature et l'évolution des étoiles, il est l'auteur d'importantes contributions à l'étude du Soleil, des atmosphères stellaires, des réactions thermonucléaires au sein des étoiles, des relations entre rotation, magnétisme et degré d'évolution des étoiles, etc.

Schéat (nom arabe signifiant *épaule,* par allusion à la représentation ancienne de la constellation). Étoile |3 de Pégase. Magnitude apparente visuelle : 2,4 (variable). Type spectral : M2. Distance : 200 années de lumière environ. C'est l'un des sommets du *Carré de Pégase.*

Schédar ou **Schédir** (nom arabe signifiant *sein,* par allusion à la représentation ancienne de la constellation). Étoile a de Cassiopée. Magnitude apparente visuelle : 2,2 (variable). Type spectral : KO. Distance : 230 années de lumière.

Scheiner (père Christoph), jésuite, astronome et mathématicien allemand (Wald, Souabe, 1575 - Neisse, Silésie, 1650).

Il est probablement le premier à avoir construit une lunette astronomique avec oculaire et objectif convexes, dans laquelle l'image est redressée, le champ plus grand et l'observation plus commode. En 1611, à Ingolstadt, il observa les taches solaires à la lunette sans savoir que Galilée* et Fabricius* les avaient remarquées avant lui, mais il les étudia longuement à travers un écran coloré, ce qui était alors une nouveauté. Dans son ouvrage *Rosa Ursina* (1626-1630), il compléta ses observations en dressant des cartes du Soleil, de ses taches et de leurs mouvements, montrant que cet astre est soumis à des changements et qu'il tourne sur lui-même.

Schiaparelli (Giovanni Virginio), astronome italien (Savigliano, Piémont, 1835-Milan 1910).

Il découvrit la petite planète *Hesperia* (1861). En 1866, il montra que les orbites de plusieurs essaims de météorites coïncident avec celles de certaines comètes et en conclut que ces essaims sont des débris cométaires. Il est surtout connu pour ses observations des planètes et des prétendus « canaux* » de Mars, dont il fut l'un des plus ardents défenseurs.

Schmidt (Maarten), astrophysicien américain d'origine néerlandaise (Groningen 1929).

En 1963, il identifia les raies du spectre des quasars, découvrant leur très important décalage vers le rouge.

Schmidt (télescope de) [de B.V. Schmidt, opticien allemand (1879-1935)]. Télescope photographique à grand champ, comportant un miroir sphérique devant lequel est placée, au centre de courbure, une lame correctrice en verre de forme spéciale (lame de Schmidt), convergente au centre et divergente sur les bords (*voir* figure).

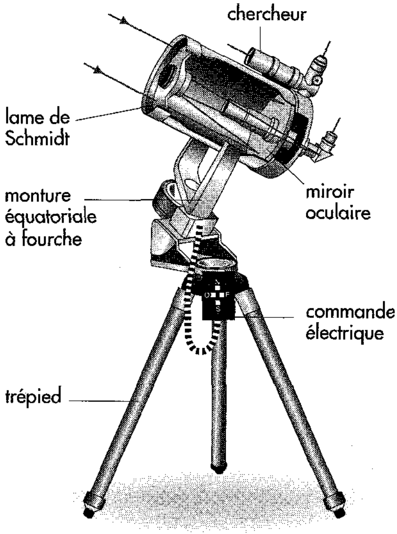
Schmidt-Cassegrain (télescope). Télescope associant la combinaison optique de Schmidt et celle de Cassegrain.
La compacité de cet instrument le rend très populaire auprès des astronomes amateurs.

Schrôter (vallée de). La plus grande vallée à méandres de la surface lunaire, dans l'océan des Tempêtes.
ENCYCL. Cette vallée porte le nom d'un pionnier de l'observation de la Lune, l'astronome amateur allemand Johann Hieronymus Schrôter (1745-1816). Elle commence à 25 km au nord du cratère Hérodote dans une zone appelée *Tête de cobra* en raison de son aspect, et elle s'étend sur 200 km environ de longueur. Sa largeur maximale est de 10 km et sa profondeur de 1 000 m environ.

Schwarzschild (Karl), astrophysicien allemand (Francfort-sur-le-Main 1873 - Potsdam 1916).
11 a été le premier à appliquer la photographie aux mesures de photométrie stellaire. Mais il reste surtout connu pour son apport à la théorie de la relativité* générale (1916) : il a donné la première solution exacte des équations d'Einstein, relative à la courbure d'un espace vide imposée par le champ gravitationnel d'une masse sphérique, et il a prédit l'existence des trous* noirs.

Schwarzschild (rayon de). Le plus petit rayon théorique d'une masse gazeuse sphérique pour lequel l'équilibre pourra être réalisé malgré la tendance à la contraction gravitationnelle*.
ENCYCL. Si le rayon devient égal ou inférieur au rayon de Schwarzschild, aucune force physique connue ne peut s'opposer à l'effondrement gravitationnel du système, qui devient alors ce que l'on appelle un trou* noir. Cet effet, prévu dans le cadre de la théorie de la relativité générale, conduit à une valeur du rayon de Schwarzschild proportionnelle à la masse du système ; pour une masse égale à celle du Soleil, ce rayon limite vaut 3 km.

Télescope de **Schmidt-Cassegrain**



Schwassmann-Wachmann I (comète). Comète périodique, découverte à Hambourg en 1927 par les deux astronomes allemands dont elle porte le nom.
ENCYCL. Elle décrit en 16,1 ans une orbite presque circulaire, située entre celles de Jupiter et de Saturne et connaît des sursauts d'éclat imprévisibles, sa magnitude - habituellement de 18 - pouvant descendre à 13 en quelques heures seulement. En 1994, on a découvert qu'elle renfermait de grandes quantités de monoxyde de carbone ; la sublimation de ce matériau serait à l'origine des sursauts d'éclat observés.

scintillation n.f. Phénomène de fluctuation rapide de l'intensité du rayonnement reçu d'un astre ponctuel, dû à des fluctuations de densité dans les milieux que traverse ce rayonnement avant de parvenir à l'observateur.
ENCYCL. La scintillation des étoiles visibles est due à la turbulence de l'atmosphère terrestre : c'est le phénomène de *scintillation atmosphérique*. La scintillation affecte également

le rayonnement radioélectrique des radiosources ponctuelles, tels les pulsars* ; les fluctuations de densité à l'origine de cette scintillation sont celles du milieu interplanétaire, en relation étroite avec le vent solaire (on parle alors de *scintillation interplanétaire),* et celles du milieu *interstellaire*(scintillation interstellaire).*

Sel. Abréviation de *Sculptor,* désignant la constellation du Sculpteur.

Sco. Abréviation de *Scorpius,* désignant la constellation du Scorpion.

scooter spatial — Ikarus, MMU

SCORE (sigle de l'angl. *Signal Communication by Orbiting Radio Equipment,* signal de communication par équipement radio en orbite). Objet spatial lancé par les États-Unis le 18 décembre 1958 et considéré comme le premier satellite de télécommunications.
ENCYCL. Il s'agissait de 68 kg d'instruments (dont un magnétophone et un émetteur radio) logés dans l'ogive d'un missile Atlas décrivant une orbite elliptique (périgée : 185 km ; apogée : 1 470 km ; inclinaison : 32,3° ; période : 101,5 min). Un message préenregistré - les vœux de Noël du président Eisenhower - fut diffusé pendant treize jours. Il s'est désagrégé dans l'atmosphère le 21 janvier 1959.

Scorpion (en latin *Scorpius, -«).* Constellation zodiacale située entre la Balance et le Sagittaire.
ENCYCL. Son étoile la plus brillante est Antarès*. Elle renferme notamment les amas ouverts M 6 et M 7 et les amas globulaires M 4 et M 80, accessibles avec de petits instruments d'amateur.

Scorpius (-ii). Nom latin de la constellation du Scorpion (abrév. *Sco).*

Scout. Lanceurs spatiaux légers américains.
ENCYCL. Construit à partir de 1958 sous contrat conjoint de la NASA et du DOD, par LTV Aerospace and Defense Company, filiale de LTV Corporation, et utilisé depuis 1960 en version triétage puis quadriétage, le lanceur Scout est un lanceur léger dont tous les étages utilisent la propulsion à poudre. Plus de cent exemplaires ont été lancés, en neuf versions différentes : la dernière, Scout G-l, date de 1979 ; haute de 23 m pour une masse au décollage de 21,7 t et munie de quatre étages, elle délivre une poussée au décollage de 464 kN et permet de placer en orbite basse autour de la Terre une charge utile de moins de 400 kg. L'industrie italienne a été autorisée à développer une version améliorée, comportant quatre propulseurs d'appoint à poudre, pour le lancement de charges utiles atteignant jusqu'à 600 kg, depuis la plate-forme San Marco*, dans l'océan Indien.
Les lancements de fusées Scout s'effectuent de Wallops Island (Virginie) pour les satellisations sous inclinaison moyenne, de Vandenberg (Californie) pour les mises en orbite polaire et de la plate-forme San Marco, au large du Kenya, pour les mises en orbite équatoriale.
Utilisés par la NASA pour promouvoir la coopération internationale, les lanceurs Scout ont servi, avant l'avènement de la filière Ariane, au lancement de vingt petits sateËites européens : cinq au profit de l'ESRO* et quinze au profit de divers États européens. La France, en particulier, a eu recours à deux reprises à une fusée Scout : le 6 décembre 1965, pour le lancement, depuis Vandenberg, du premier satellite scientifique français, FR1*, et le 16 août 1971, pour le lancement, depuis Wallops Island, du satellite de collecte de données météorologiques Éole*.

Set. Abréviation de *Scutum (Sobiescianum)* désignant la constellation de l'Écu de Sobieski.

Sculpteur (en latin *Sculptor, -oris).* Petite constellation australe introduite par La Caille en 1752, à l'ouest de l'étoile brillante Fomalhaut, et appelée primitivement « Atelier du Sculpteur ».
ENCYCL. Elle ne renferme que des étoiles peu brillantes, de magnitude apparente supérieure à 4,5. Mais elle abrite des galaxies, parmi lesquelles une petite galaxie elliptique du Groupe* local, située à 280 000 années de lumière.

Sculptor (-oris). Nom latin de la constellation du Sculpteur (abrév. *Sel).*

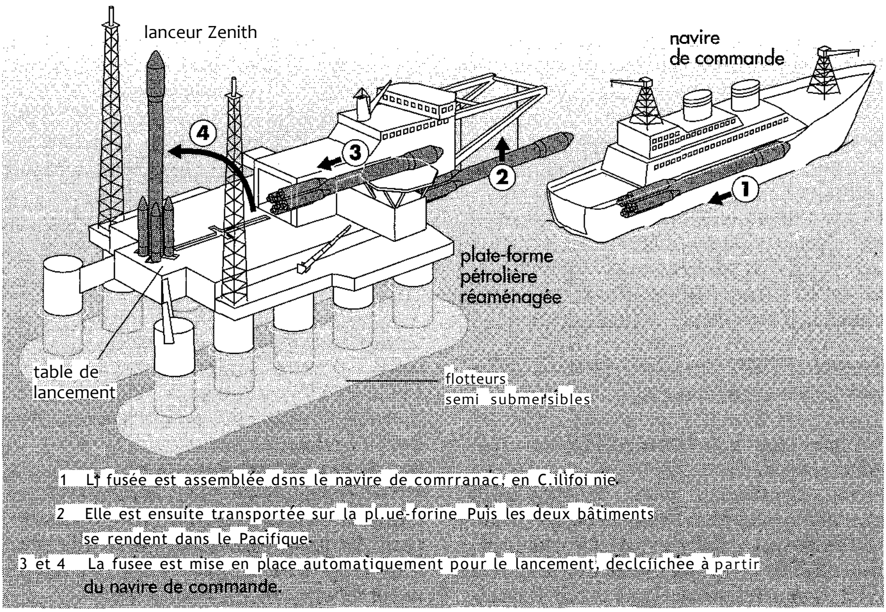
Scutum (-i) Sobiescianum (-i). Nom latin de la constellation de l'Écu de Sobieski (abrév. *Set).*

SDI (sigle de *StratégieDefenseInitiative),* sigle américain désignant l'Initiative* de défense stratégique.

Sea Launch (en anglais, *lancement en mer).* Base spatiale flottante réalisée par un consortium international rassemblant la firme américaine Bœing (40 % des parts) et des industriels russes (25 %), norvégiens (20 %) et ukrainiens (15 %).
ENCYCL. La base est constituée d'une ancienne plate-forme pétrolière transformée pour la circonstance, Odyssey (longueur : 133 m, hauteur : 78 m, masse : 46 000 t), et d'un navire d'assemblage et de commande (longueur : 200 m, largeur : 32 m, masse : 34 000 t), ancrés en temps normal à Long Beach (Californie, États-Unis).
Fabriqués en Ukraine, les lanceurs Zenith arrivent en pièces détachées à Long Beach pour être assemblés, puis installés sur la plate-forme qui gagne, en un dizaine de jours, son site de lancement, dans l'océan Pacifique, près de l'équateur. Pour les lancements vers l'est, on profite ainsi des effets de la rotation terrestre.
Télécommandés depuis le navire de contrôle, éloigné de quelques kilomètres, les lancements pourront se faire aussi bien vers l'orbite géostationnaire que vers les orbites basses ou polaires.
Le premier lancement, réussi, a eu lieu le 28 mars 1999. De six à douze lancements par an sont prévus.

Seasat. Premier satellite océanographique civil américain.
ENCYCL. Lancé de Vandenberg par une fusée Atlas le 26 juin 1978, il fut placé sur une orbite de 769 km de périgée et 799 km d'apogée, inclinée de 108° sur l'équateur et décrite en 100,7 min. Sa charge utile comportait : un radaraltimètre, pour mesurer la topographie de la surface océanique, la hauteur des vagues et la vitesse des vents ; un

Sea Launch



radiomètre à balayage micro-ondes multicanaux, pour mesurer les températures de la surface océanique, la vitesse des vents et la teneur de l'atmosphère en vapeur d'eau ; un diffusomètre, pour mesurer la vitesse des vents en direction et en intensité ; un radar à synthèse d'ouverture (le premier embarqué sur un satellite), pour mesurer la hauteur et la direction des vagues et suivre les mouvements des glaces ; et un radiomètre opérant dans le visible et l'infrarouge, pour l'étude des nuages. Bien qu'il ait cessé prématurément de fonctionner le 10 octobre 1978, après seulement trois mois d'observation, il a fourni les premières données de topographie dynamique globale des océans par altimétrie et montré l'immense intérêt des détecteurs micro-ondes, opérationnels de jour comme de nuit et quelles que soient les conditions météorologiques, pour la mesure des variables océaniques ainsi que pour l'étude des vagues, des courants marins et des glaces.

Secchi (père Angelo), jésuite et astronome italien (Reggio Emilia 1818-Rome 1878).
Directeur de l'observatoire du Collège romain (aujourd'hui observatoire du Vatican) à partir de 1849, il fut un pionnier de la spectroscopie stellaire. Le premier, il eut l'idée de classer les étoiles d'après l'aspect de leur spectre (1868) et il suggéra que celui-ci est lié à leur température de surface.

séculaire adj. Se dit, en mécanique céleste, d'une variation périodique qui s'étend sur plusieurs siècles et peut, de ce fait, être représentée sur un court intervalle de temps par une fonction constamment croissante ou décroissante.

seeing n.m. (mot angl.). Évaluation des conditions d'observation en un lieu et à un moment donnés d'après l'altération de la qualité des images imputable à l'atmosphère.
ENCYCL. Lorsque le seeing est bon, les images sont nettes et stables ; lorsqu'il est mauvais, elles sont floues et tremblantes. E. Antoniadi est l'inventeur d'une échelle d'appréciation qualitative du seeing qui comprend cinq degrés, notés de I (excellent) à V (extrêmement mauvais).

sélénocentrique adj. Relatif à un système de coordonnées dont l'origine est le centre de la Lune.

sélénographie ni. Étude descriptive de la surface de la Lune.

sélénologie n.f. Étude scientifique de la Lune.

sélénologue n.m. Spécialiste de l'étude de la Lune.

senseur n.m. Synonyme de capteur ou de détecteur. Anglicisme dont le Conseil international de la langue française proscrit l'emploi.

SEP (sigle de Société Européenne de Propulsion). Société industrielle et commerciale française du groupe SNECMA, créée en 1969 pour regrouper toutes les activités de moteurs-fusées existant en France depuis 1945. Depuis le 31 octobre 1997, la SEP est une division de la SNECMA (Société nationale d'étude et de construction de moteurs d'aviation).
ENCYCL. La SEP est le leader européen de la propulsion spatiale. Elle emploie environ 3 000 salariés, répartis dans plusieurs établissements (Paris, Vernon, Villaroche, Bordeaux et Kourou).
Sa vocation est double : dans le domaine militaire (le quart de son C.A.), la SEP fabrique les propulseurs de nombreux missiles français et toute une gamme de matériaux composites ; dans le domaine civil, elle produit les moteurs principaux des lanceurs Ariane : Viking et HM7 (versions Ariane 1 à 4), Vulcain (version Ariane 5).
Pour réaliser les tests qu'exige la mise au point de tout moteur, la SEP dispose d'un espace de 120 ha à Vernon (Eure), où ont été construits d'importants moyens d'essais - uniques en Europe -, en particulier des bancs sur lesquels les prototypes subissent des centaines d'essais dans des conditions réelles de fonctionnement.
Ses autres activités à caractère spatial concernent principalement la production de moteurs d'apogée Mage, le développement et la production de moteurs de commande d'attitude et d'orbite (à hydrazine ou bili-

quides) et des systèmes de propulsion associés, le développement et la production de mécanismes d'orientation de panneaux solaires, le développement de fours de traitement de matériaux en micropesanteur.

séparateur (pouvoir). Aptitude d'un instrument d'observation à distinguer de fins détails ou deux points rapprochés. En principe, c'est l'inverse de la limite de résolution* : plus cette limite est petite, meilleur est le pouvoir séparateur

séparation n.f. Distance angulaire, mesurée en secondes d'arc, entre les deux composantes d'une étoile double* visuelle.

SEPRA (sigle de Service d'Expertise des Phénomènes de Rentrée Atmosphérique). Service créé en novembre 1988 au sein du CNES, à Toulouse, avec une double mission : d'une part, élaborer une base de données sur les objets spatiaux français et européens, établir des prévisions concernant la rentrée dans l'atmosphère des objets satellisés ; d'autre part, reprendre une partie des activités du GEPAN (collecte et centralisation d'informations, enquêtes sur le terrain, études spécifiques, etc.) concernant les phénomènes aérospatiaux non identifiés.

séquence (ou **série) principale.** Bande s'étendant en diagonale de l'extrémité supérieure gauche à l'extrémité inférieure droite du diagramme de Hertzsprung-Russell, le long de laquelle se situent les étoiles qui, à l'exemple du Soleil, tirent leur énergie de la fusion d'hydrogène en hélium.

Ser. Abréviation de *Serpens,* désignant la constellation du Serpent.

Serpens. Nom latin de la constellation du Serpent (abrév. *Ser).*

Serpent (en latin *Serpens, entis).* Constellation équatoriale très étendue en longitude, scindée par la constellation d'Ophiucus en deux parties : la Tête du Serpent (*Serpens caput)* et la Queue du Serpent (*Serpens cauda).*
ENCYCL. Son étoile la plus brillante est *Unuk*.* Parmi les curiosités visibles dans cette constellation avec de petits instruments d'amateur figurent notamment l'amas globulaire M 5, l'amas ouvert M 16, enchâssé dans une nébuleuse, et l'étoile variable *R Serpentis,* dont la magnitude oscille entre 14 et 5,6 en 357 jours.

Serpentaire. Nom parfois donné à la constellation d'Ophiucus.

serre (effet de). Processus de chauffage interne d'une atmosphère planétaire, dû à l'opacité de celle-ci au rayonnement infrarouge.

serré, e adj. Se dit d'une binaire dont les deux étoiles sont suffisamment proches l'une de l'autre pour pouvoir échanger de la matière sous l'effet de leur attraction mutuelle.

SETI (sigle de *Search for Extra-Terrestrial Intelligence,* recherche d'intelligence extraterrestre). Programme de recherche mis en œuvre par la NASA en vue de capter d'éventuels signaux radioélectriques émis par des civilisations extraterrestres.
ENCYCL. Les premières expériences remontent à 1960, lorsque l'Américain Frank Drake utilisa le radiotélescope de Green Bank, aux États-Unis, pendant trois mois, pour « écouter », à une longueur d'onde voisine de 21 cm, les étoiles *Epsilon Eridani* et *Tau Ceti,* distantes de 11 années de lumière seulement et susceptibles d'être entourées de planètes. De nombreuses autres tentatives, toutes restées vaines, ont eu lieu depuis, à l'aide de grands radiotélescopes, tels ceux d'Arecibo (Porto Rico) ou de Nançay (France).
Le 12 octobre 1992 a été lancé un programme plus ambitieux, appelé HRMS *(High Resolution Microwave Survey),* qui met en œuvre un dispositif capable d'analyser 10 millions de fréquences par seconde et qui comporte deux volets : l'écoute spécifique de quelque 800 étoiles comparables au Soleil, toutes situées à moins de 80 années de lumière de distance ; et une surveillance de l'ensemble du ciel.
La NASA a dû cesser de financer ce programme à la fin de 1993. Rebaptisé Phoenix, 11 se poursuit désormais grâce à des fonds privés.

Sex. Abréviation de *Sextans,* désignant la constellation du Sextant.

Sextans (-antis). Nom latin de la constellation du Sextant (abrév. *Sex).*

Sextant (en latin *Sextans, -antis).* Petite constellation équatoriale, au sud du Lion, introduite par Hevelius vers 1660. Elle ne renferme que des étoiles de faible éclat, dont la plus brillante est de magnitude apparente 4,5.

Seyfert (galaxies de). Type de galaxies à noyau actif, ainsi appelées du nom de l'astrophysicien Cari K. Seyfert (1911-1960), qui, le premier, les étudia en 1943.
ENCYCL. Ce sont des galaxies spirales ayant un noyau particulièrement lumineux ; si leur luminosité dans le domaine visible est voisine de celle des galaxies normales, elles sont par contre des sources infrarouges beaucoup plus puissantes. Certaines sont aussi des sources de rayonnements plus énergétiques que la lumière visible.
Le spectre des galaxies de Seyfert se distingue de celui des galaxies normales par la présence de raies d'émission intenses et très larges qui révèlent des mouvements du gaz avec des vitesses de plusieurs milliers de km/s.
Ces galaxies (environ 1 % des galaxies spirales) semblent représenter une phase d'activité de la vie d'une galaxie, intermédiaire entre les galaxies normales et les quasars*.

SFSA. Sigle de Société Française des Spécialistes d'Astronomie.

Sge. Abréviation de *Sagitta,* désignant la constellation de la Flèche.

Sgr. Abréviation de *Sagittarius,* désignant la constellation du Sagittaire.

Shapley (Harlow), astrophysicien américain (Nashville, Missouri, 1885-Boulder, Colorado, 1972).
Ses premières recherches, qu'il effectua en collaboration avec H.N. Russell, portèrent sur les étoiles variables à éclipses. Il montra que les céphéides* ne se rangent pas dans cette catégorie mais sont des étoiles puisantes. Puis, à l'observatoire du mont Wilson, en Californie, de 1914 à 1921, il se consacra à l'étude des amas* globulaires connus à l'époque, dont il parvint à déterminer la distance après avoir calibré la relation période-luminosité des céphéides, mise en évidence peu auparavant par H. Leavitt*. Il montra ainsi que l'ensemble de ces amas forme un immense système sphérique enveloppant le disque dans lequel se concentrent la majorité des étoiles de notre Galaxie. Il établit aussi que le Soleil occupe dans ce disque une position très périphérique, et imposa donc une conception nouvelle de notre Galaxie, tout en commettant initialement l'erreur d'identifier cette dernière à l'univers entier. Après que Hubble eut établi l'existence de galaxies extérieures à la nôtre, il entreprit l'exploration photographique de vastes régions du ciel et découvrit ainsi des milliers de galaxies nouvelles, dont il montra la distribution fréquente en amas.

Sharman (Helen), chimiste et spationaute britannique (Sheffield 1963).
En participant du 18 au 26 mai 1991 à la mission spatiale russo-britannique Juno, durant laquelle elle procéda à des expériences physiologiques, elle est devenue la première spationaute du Royaume-Uni et la première femme - ni Américaine ni ex-Soviétique - à effectuer un vol dans l'espace.

Shavit (mot hébreu signifiant *comète).* Lanceur israélien.
ENCYCL. Triétage, à propergol solide, pesant une vingtaine de tonnes au décollage, il est capable de mettre sur orbite basse (périgée : 250 km ; apogée : 1 000 km) et rétrograde (inclinaison : 143°) une charge utile de 160 kg. Il a permis de lancer les trois premiers satellites israéliens, Offeq*.

Shepard (Alan Bartlett). astronaute américain (East Derry, New Hampshire, 1923 - Monterey, Californie 1998).
Membre du « groupe des 7 », tous pilotes militaires, constitué par la NASA en avril 1959 pour le programme Mercury, il réalisa le premier vol suborbital (d'une durée de 15 min 22 s) : le 5 mai 1961, un missile Redstone propulsa sa capsule Mercury Freedom 7 sur une trajectoire balistique ; elle culmina

à 187 km, puis retomba dans l'Atlantique, à moins de 500 km de cap Canaveral, son point de départ. Shepard aurait supporté une accélération de 6 g au décollage et une décélération de 12 g au retour. En 1971, il fut commandant de bord de la mission lunaire Apollo 14. Il quitta la NASA en 1974 et se reconvertit dans les affaires.

Shoemaker-Levy 9 (comète). Comète découverte le 24 mars 1993 à l'observatoire du mont Palomar par les Américains Eugene et Carolyn Schoemaker et David Levy, sous l'aspect d'un chapelet d'une vingtaine de fragments.
ENCYCL. Le calcul des éléments orbitaux de cette comète a montré qu'elle avait dû se briser en frôlant Jupiter le 8 juillet 1992 et que ses fragments observés (de dimensions kilométriques ou hectométriques), capturés par le champ d'attraction de la planète géante, gravitaient sur une trajectoire qui les amènerait à percuter cette planète à la mi-juillet 1994. Une telle collision d'une comète avec une planète n'ayant jamais été observée auparavant, bien qu'elle représente vraisemblablement un phénomène fréquent à l'échelle cosmique, l'événement a suscité une mobilisation exceptionnelle dans les observatoires du monde entier. Grâce aux données du satellite Hipparcos*, les dates et heures des impacts ont pu être calculées avec une grande précision. Du 16 au 22 juillet 1994, la succession des impacts des fragments de la comète sur Jupiter a été suivie, au sol ou dans l'espace, dans tous les domaines spectraux s'étendant des rayons X aux ondes radio décimétriques.
Au sol, les sites d'observation étaient répartis tout autour du globe, de la Russie (Zelentchouk) à l'Australie, en passant par la France (pic du Midi), les Canaries, le Chili (ESO), Hawaii (Mauna Kea), et même le pôle Sud. Dans l'espace ont été mis à contribution la sonde Galileo* (qui, en raison de sa position par rapport à Jupiter, a permis les seules observations en visée directe des impacts), le télescope spatial Hubble*, les satellites IUE* et Rosat*, auxquels il faut ajouter le Kuiper* Airborne Observatory pour les observations aéroportées.
Les impacts ont provoqué d'énormes perturbations (thermiques, chimiques, etc.) dans l'atmosphère de Jupiter, à l'origine d'informations nouvelles tant sur la structure de la planète que sur celle du matériau cométaire.

Short (James), opticien britannique (Édimbourg 1710-Londres 1768).
Célèbre constructeur de télescopes (il en aurait réalisé plus d'un millier), il effectua aussi des observations astronomiques et découvrit la granulation solaire (1748).

Shuttle. Mot américain signifiant *navette,* fréquemment utilisé pour désigner la navette* spatiale américaine.

sidéral, e, aux adj. Relatif aux astres. *(Période de) révolution sidérale :* intervalle de temps qui sépare deux passages consécutifs d'une planète (ou d'un satellite) en un point de son orbite d'une direction donnée par rapport aux étoiles lointaines. *Temps sidéral* **-•temps**

sidérite n.f. (du grec *sidêritês [lithos],* [pierre de] fer). Météorite constituée essentiellement de fer et de nickel.

sidérolithe ou **sidérolite** n.f. Météorite dans laquelle la roche et l'alliage fer-nickel sont en proportions équivalentes, SYN. : *litho-sidérite*

sidérostat n.m. Type de cœlostat* ne comportant qu'un seul miroir.

Siding Spring (observatoire de). Observatoire d'Australie, en Nouvelle-Galles du Sud, sur l'un des sommets de la chaîne des monts Warrumbungle, à 1 000 m environ d'altitude.
ENCYCL. Fondé en 1962, il appartient à l'université nationale australienne et constitue une seule entité administrative avec l'observatoire du mont Stromlo*.
Il abrite notamment un télescope de 2,3 m, un télescope de 1 m et un télescope de 0,66 m d'ouverture, ainsi que les instruments de l'observatoire anglo-australien et un télescope de Schmidt* suédois.

SIGMA (sigle de Système d'Imagerie Gamma à Masque Aléatoire). Télescope

français embarqué à bord du satellite russe Granat* pour l'étude des sources célestes de rayonnement gamma.
ENCYCL. Long de 3,5 m pour un diamètre à la base de 1,2 m et pesant 1 018 kg, ce télescope constituait la principale charge utile du satellite Granat. Il comprenait essentiellement un masque en tungstène, percé d'une multitude de trous, que traversait le rayonnement gamma incident avant d'atteindre un détecteur sensible aux photons gamma dont l'énergie était comprise entre 35 et 1 300 keV. Une découverte majeure concerne, en particulier, la région centrale de notre galaxie, où SIGMA a localisé un astre qui s'est avéré être le site d'une intense annihilation électron-positon, phénomène signalant à coup sûr la présence d'un trou noir, ce dernier, toutefois, ne se situant pas au centre dynamique de la Galaxie mais à plus de 300 années de lumière de celui-ci. II a fonctionné jusqu'à l'automne 1994.

SIGNE 3 (sigle de l'angl. *Solar Interplanetary Gamma Neutrons Experiment,* expérience de neutrons gamma interplanétaires solaires), satellite scientifique français mis sur orbite le 17 juin 1977 par un lanceur soviétique et initialement appelé D2B gamma.
Tombé en panne le 26 mars 1978, il est rentré dans l'atmosphère le 20 juin 1979.

Silex (abréviation de l'angl. *Semi-conductor laser Intersatellite Link EXperiment,* expérience de liaison entre satellites par laser à semiconducteur). Programme européen visant à démontrer l'intérêt des fréquences optiques pour la transmission de données, en particulier à haut débit, entre engins spatiaux. Le premier instrument a été installé sur le satellite SPOT 4 en 1998.

simulation n.f. Reproduction d'un équipement ou de conditions spécifiques procurant un environnement proche de la réalité, qu'on utilise par exemple pour l'entraînement des spationautes ou des essais de matériel.

Sinopé. Satellite de Jupiter (n° IX), le plus éloigné de la planète, découvert en 1914 par l'Américain S. Nicholson. Demi-grand axe de son orbite : 23 700 000 km. Période de révolution sidérale : 758 j. Diamètre : 30 km. Son mouvement rétrograde, sa petite taille et l'excentricité de son orbite suggèrent qu'il s'agit d'un astéroïde capturé par Jupiter.

SIRIO (sigle de l'ital. *Satellite Italiano Ricerca Industriale Operativa),* programme de satellites expérimentaux d'origine italienne.
ENCYCL. Deux satellites SIRIO ont été lancés. SIRIO 1 fut le premier satellite italien de télécommunications expérimentales. D'une masse de 398 kg au lancement (et de 220 kg en orbite), il fut lancé de cap Canaveral le 25 août 1977 par une fusée américaine Delta et placé sur l'orbite géostationnaire. SIRIO 2, après avoir été primitivement étudié en Italie, a été inclus en 1978 dans le programme de satellites d'applications de l'Agence spatiale européenne. Lancé de Kourou le 10 septembre 1982, lors du cinquième vol de la fusée Ariane, il ne put être placé sur orbite par suite d'une défaillance du lanceur et retomba dans l'océan Atlantique.

Sirius. Étoile a du Grand Chien*. Magnitude apparente visuelle : - 1,46. Type spectral : A0. Distance : 8,6 al. Masse : 2,14 fois celle du Soleil.
ENCYCL. C'est l'étoile la plus brillante du ciel, et l'une des plus proches. En 1844, l'Allemand Friedrich Bessel, ayant observé des irrégularités dans le mouvement propre de cette étoile, les attribua à la présence d'un compagnon de faible éclat (les deux composantes gravitant autour de leur barycentre et constituant une étoile double).
Découvert en 1862 par l'Américain Alvan Clark, ce compagnon, de magnitude 8, appelé Sirius B, est une naine blanche 10 000 fois moins lumineuse que la composante principale et dont le diamètre est évalué à 10 000 km seulement pour une masse égale à celle du Soleil. Il décrit son orbite en 50 ans. Dès 1894, l'existence d'un deuxième compagnon peu brillant, Sirius C, a été avancée pour expliquer des variations résiduelles du mouvement de l'étoile principale. Par une analyse approfondie des observations de Sirius accumulées depuis 1862, les Français Daniel Benest et Jean-Louis Duvent ont pu confirmer en 1995 la réalité de ces variations. Celles-ci sont imputées à une

naine rouge gravitant à très faible distance de Sirius A et donc noyée dans sa lumière. Le lever héliaque de Sirius était guetté attentivement dans l'Antiquité **canicule.** D'après certaines observations anciennes, Sirius serait apparue jadis rougeâtre (alors qu'elle est blanche de nos jours). Cette modification de teinte, si elle est réelle, pourrait être l'indice d'une évolution particulièrement rapide de Sirius B : celle-ci aurait été jadis une géante rouge dont l'éclat surpassait celui de Sirius A, mais qui, entre la fin du vi[e] siècle et le début du xvf, se serait effondrée pour devenir la naine blanche connue aujourd'hui.

Sirrah (de l'arabe *sirrah [al-faras],* l'ombilic [du cheval], par allusion à sa position sur la silhouette de Pégase). Étoile *a* d'Andromède, l'un des sommets du Carré de Pégase. Magnitude apparente visuelle : 2,1. Type spectral : AO. Distance : 96 années de lumière. On l'appelle aussi Alphératz.

SIRTF (sigle de *Space Infra Red Telescope Facility).* Projet de télescope spatial destiné à l'astronomie infrarouge, développé aux États-Unis par la NASA.
ENCYCL. Sa conception a été plusieurs fois révisée. Doté d'un miroir de 85 cm de diamètre et placé en orbite autour du Soleil, il fournira des images du ciel à des longueurs d'onde comprises entre 12 et 160 pm, effectuera des mesures spectrophotométriques à faible résolution entre 50 et 100 pm et obtiendra des spectres à plus haute résolution entre 4 et 40 pm. Son lancement est prévu en 2001 et sa mission devrait durer deux ans et demi.

Sitter (Willem de), astronome et mathématicien néerlandais (Sneek 1872 - Leyde 1934).
Directeur de l'observatoire de Leyde de 1919 à sa mort, il est connu pour ses travaux de cosmologie relativiste. En 1917, il a montré que la théorie de la relativité permet d'envisager un modèle d'Univers dans lequel la densité tend vers 0, c'est-à-dire dont le rayon tend vers l'infini, ce modèle constituant une alternative au modèle d'Univers statique uniformément rempli de matière proposé par Einstein.

SkyBridge. Système de télécommunications spatiales constitué, à terme, d'un ensemble de 80 satellites en orbite basse. Initialisé par Alcatel Espace, il a fait l'objet d'un accord de partenariat conclu le 14 janvier 1998 entre le CNES et Alcatel Space Industries, aux côtés d'Aerospatiale, de Loral Space and Communication, Toshiba, Mitsubishi Electric, Sharps, SPAR et de la SRIW. Dès 2002, il permettra l'accès rapide à Internet ainsi qu'aux différents services interactifs comme le télétravail, le télé-enseignement, les vidéoconférences et les jeux interactifs.

Skylab. Station orbitale expérimentale américaine, réalisée à partir du matériel développé dans le cadre du programme Apollo de conquête humaine de la Lune.
ENCYCL. Le corps de la station était constitué par un troisième étage S-IVB de la fusée géante Saturn V, vide de propergols et aménagé pour le séjour de trois astronautes. Cet élément, l'« atelier orbital », était complété à l'avant par un sas équipé de deux pièces d'amarrage pour des vaisseaux de transport Apollo, et par un télescope solaire construit à partir de la structure d'un module lunaire Apollo. L'ensemble avait une masse de 90 t, une longueur de 36 m, un diamètre de 6,6 m hors panneaux solaires, et offrait un volume habitable de 330 m^3. La station Skylab fut lancée le 14 mai 1973 par une fusée Saturn V, dont les deux premiers étages seulement étaient actifs, et placée sur une orbite à 450 km d'altitude, inclinée à 56° sur l'équateur. Elle fut endommagée au cours de son lancement (non-déploiement d'un panneau solaire et détérioration partielle du bouclier de protection thermique de la station), mais l'opération fut sauvée grâce au travail des trois premiers astronautes, arrivés le 25 mai à bord d'un vaisseau Apollo. La suite du programme se déroula normalement, avec la succession de trois équipages : Charles Conrad, Joseph Kerwin et PaulWeitz, pour une durée de 28 jours, du 25 mai au 22 juin 1973 ; Alan Bean, Owen Garriott et Jack Lousma, pour un vol de 59 jours, du 28 juillet au 25 septembre 1973 ; Gerald Carr, Edward Gibson et William Pogue, pour une mission de 84 jours, du 16 novembre 1973 au 8 février 1974.

Au cours de ces trois séjours, les astronautes réalisèrent 10 sorties dans l'espace pour une durée totale de 41 h 56 min. Un programme considérable d'expériences scientifiques fut réalisé, permettant notamment d'obtenir quelque 180 000 photographies du Soleil et 46 000 vues de la Terre.
Le programme Skylab a établi la possibilité pour l'homme de séjourner plusieurs mois dans l'espace, et démontré l'intérêt du travail des astronautes dans des laboratoires spatiaux pluridisciplinaires.
La station est retombée dans l'atmosphère et s'est désintégrée au-dessus de l'océan Indien et de l'Australie, le 11 juillet 1979, au cours de sa 34 981e révolution.

Skynet. Satellites géostationnaires de télécommunications militaires britanniques lancés depuis 1969.
ENCYCL. La génération la plus récente est celle des Skynet 4. Trois satellites ont été lancés de 1988 à 1990, complétés par deux satellites NATO 4 de 1991 à 1993. Ils ont été utilisés notamment lors de la guerre du Golfe et lors des interventions en Somalie et dans l'ex-Yougoslavie. Deux satellites supplémentaires, Skynet 4D et 4E, ont été lancés en 1998 et en 1999, respectivement par une fusée américaine Delta 2 et une fusée européenne Ariane 4.

Slipher (Earl), astronome américain (Mulberry, Indiana, 1883 - Flagstaff, Arizona, 1964).
Pionnier de la photographie planétaire, il prit quelque 200 000 photographies de la planète Mars. Il fut l'un des premiers à normaliser ses plaques pour les mesures photométriques et à reconnaître l'intérêt des clichés composites.

Slipher (Vesto Melvin), astronome américain (Mulberry, Indiana, 1875 - Flagstaff, Arizona, 1969).
Collaborateur de P. Lowell, il utilisa d'abord la spectrographie pour déterminer les périodes de rotation des planètes et mit en évidence, dans les spectres de Jupiter, de Saturne, d'Uranus et de Neptune, des bandes d'absorption grâce auxquelles il identifia plus tard certains constituants de l'atmosphère de ces planètes. Appliquant ensuite l'analyse spectrale aux astres lointains, il a été le premier à déterminer la vitesse radiale de galaxies (1912-1914) et à déceler leur mouvement de rotation.

SLS (sigle de l'angl. *Spacelab Life Sciences,* Spacelab sciences de la vie). Bloc expérimental utilisant le Spacelab*, embarqué à bord d'un orbiteur de la navette spatiale américaine pour la mise en œuvre d'expériences concernant les sciences de la vie, en particulier la médecine spatiale.
ENCYCL. Son premier vol, SLS 1, a eu lieu du 5 au 14 juin 1991 (41e mission de la navette). Il a autorisé la mise en œuvre de 18 expériences.

SLV 3 (sigle de l'angl. *Satellite Launch Vehicle,* lanceur de satellite troisième génération). Lanceur spatial indien composé de quatre étages à poudre, pesant 171 au décollage, capable de satelliser une masse de 50 kg en orbite basse, il a permis à l'Inde de devenir une puissance spatiale en mettant sur orbite, le 18 juillet 1980, le sateËite Rohini 1. Il a été abandonné pour des lanceurs plus puissants : ASLV, PSLV et GSLV.

SMART (sigle de l'angl. *Small Missions for Advanced Research in Technology).* Programme européen destiné à tester de nouvelles technologies susceptibles d'être utilisées lors de futures missions scientifiques dans des domaines tels que la propulsion, la navigation, les télécommunications ou l'instrumentation scientifique.
ENCYCL. Ce programme comportera un ensemble de missions peu coûteuses. La première, SMART 1, permettra de tester un moteur à propulsion ionique pendant un vol de longue durée sur une sonde lancée vers la Lune.

Smithsonian Astrophysical Observatory (SAO). Établissement de recherche astronomique américain fondé en 1890 parla Smithsonian Institution.
ENCYCL. Il disposait initialement de modestes installations à Washington. Son siège a été transféré en 1955 sur le site de l'observatoire du Harvard* College, à Cambridge, et ses activités se sont développées. En 1967, a été

installé sur le mont Hopkins, en Arizona, un observatoire (désigné aujourd'hui sous le nom d'observatoire EL. Whipple), qui abrite notamment le Multiple* Mirror Telescope. En 1973, le SAO a fusionné avec l'observatoire du Harvard College pour donner naissance à un nouvel organisme, le *Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics.*

SMM (sigle de l'angl. *Solar Maximum Mission,* mission pour le maximum solaire). Satellite astronomique américain lancé le 14 février 1980 pour l'étude du Soleil pendant une de ses périodes d'activité maximale.

ENCYCL. Victime d'une défaillance partielle après dix mois seulement de fonctionnement, il est le premier satellite à avoir été réparé dans l'espace : en avril 1984, après avoir été saisi par le bras télémanipulateur de l'orbiteur Challenger, il a pu être réparé par deux astronautes dans la soute de l'orbiteur puis replacé en orbite. Il s'est désintégré en rentrant dans l'atmosphère, le 2 décembre 1989, après avoir observé quelque 12 500 éruptions solaires.

SNC (météorites). Petit groupe de météorites basaltiques aux caractéristiques particulières, que l'on suppose provenir de la planète Mars.

ENCYCL. Ce groupe est désigné par les initiales des trois sous-groupes qui le composent : les *shergottites,* ainsi appelées parce que le premier spécimen fut découvert à Shergotty (Inde) en 1865 ; les *nakhlites,* du nom de la ville égyptienne de Nakhla où fut recueillie, en 1911, la première météorite de ce type ; et les *chassignites,* dont on ne connaît, en fait, qu'un seul spécimen, recueilli après sa chute à Chassigny, Haute-Marne, en 1815. Au total, on n'a identifié que 14 météorites SNC. C'est essentiellement leur composition chimique ou isotopique et leur âge (1 300 millions d'années seulement) qui conduisent à leur imputer une origine martienne.

Société astronomique de France (SAF). Association française d'astronomes amateurs et d'astronomes professionnels, fondée en 1887 par C. Flammarion* et reconnue d'utilité publique en 1897. Elle publie notamment la revue mensuelle *l'Astronomie* et le bulletin trimestriel *Observations et travaux.*

ADRESSE : 3, rue Beethoven, 75016 Paris.

Société européenne d'astronomie (EAS). Société fondée en 1990 pour promouvoir l'astronomie en Europe et contribuer à son développement. Elle rassemble environ 1 500 membres individuels et une vingtaine de sociétés affiliées.

Société française des spécialistes d'astronomie (SFSA). Société fondée en 1978 pour regrouper les astronomes professionnels français et promouvoir l'astronomie. En 1999, elle a pris le nom de Société française d'astronomie et d'astrophysique. Elle publie le *Journal des astronomes français.*

ADRESSE : 61, avenue de l'Observatoire, 75014 Paris.

Soho (acronyme de l'angl. *SOlar and Heliospheric Observatory,* observatoire solaire et héliosphérique). Satellite destiné à l'étude du Soleil et de l'héliosphère, réalisé dans le cadre d'un programme de collaboration entre la NASA et l'Agence spatiale européenne.

ENCYCL. Construit en Europe, mais lancé par une fusée américaine, le 2 décembre1995, il est placé en orbite autour de l'un des points de Lagrange du système Soleil-Terre à 1,5 million de kilomètres de la Terre, sur la ligne Soleil-Terre, et stabilisé selon les trois axes, de telle sorte que ses instruments restent pointés en permanence sur le Soleil, il étudie les oscillations du Soleil, le mécanisme de chauffage de la couronne solaire et les processus à l'origine du vent solaire. C'est l'une des deux missions du programme international d'étude des relations Soleil-Terre (ISTP), l'autre étant Cluster*.

Le 25 juin 1998, le satellite a échappé à tout contrôle et, pendant près d'un mois, il a été perdu dans l'espace, aucun contact ne pouvant plus être établi avec lui. Enfin localisé le 23 juillet à l'aide du grand radiotélescope d'Arecibo*, il a commencé le 3 août à répondre aux appels qui lui étaient lancés de la Terre. Une très délicate opération de sauvetage a pu alors être menée, au terme de laquelle, le 16 septembre, le satellite s'est réorienté correctement par rapport au Soleil.

Porteur de 12 instruments tout à fait complémentaires, tant par le domaine de longueurs d'onde dans lequel ils opèrent que par la région du Soleil qu'ils observent, Soho a permis des avancées importantes dans la connaissance du Soleil, en particulier pour la compréhension du mécanisme de chauffage de la couronne. Malgré les défaillances de ses gyroscopes, sa mission a été prolongée pour lui permettre d'observer le Soleil lors de son maximum d'activité, attendu en 2000 ou 2001.

Sojourner (en hommage à Sojourner Truth, héroïne de l'esclavage aux États-Unis, mais aussi mot angl. signifiant « voyageur de passage). Petit robot automobile déposé sur Mars en 1997 par la sonde américaine Mars* Pathfinder.

ENCYCL. Gros comme une valise, il ne pesait que 11 kg, mais comportait trois caméras (deux à l'avant, une à l'arrière) ainsi qu'un spectromètre à rayons X et rayons alpha, pour analyser la composition chimique du sol et des roches. Doté de six roues motrices indépendantes, il se déplaçait à une vitesse de croisière de 40 centimètres par minute. Alors que son fonctionnement n'était prévu que pendant une semaine, il a exploré la surface martienne, dans un rayon de 20 m autour de la plate-forme d'atterrissage, et pris des milliers d'images, pendant près de trois mois, du 6 juillet au 27 septembre 1997, jusqu'à ce que soit perdu le contact avec la plate-forme d'atterrissage, qui servait de relais pour les télécommunications avec la Terre.

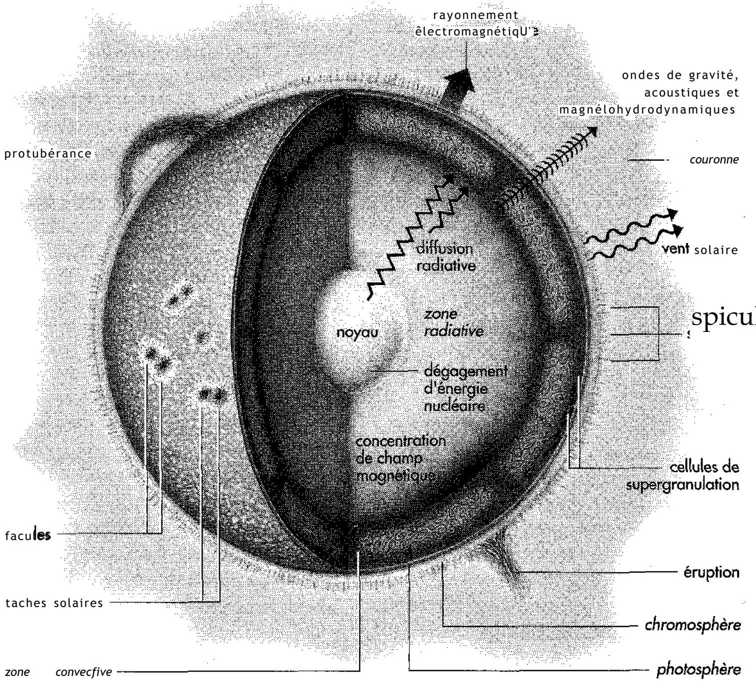
Solar Max. Appellation familière du satellite SMM* *(Solar Maximum Mission).*

Soleil n.m. Étoile centrale du système solaire, autour de laquelle gravite la Terre.

ENCYCL. Le Soleil est une sphère de gaz incandescents au centre de laquelle la température (env. 15 millions de kelvins) et la densité permettent des réactions nucléaires qui réalisent la fusion de noyaux d'atomes d'hydrogène en noyaux d'atomes d'hélium, accompagnée d'un dégagement d'énergie rayonnante. La région ordinairement visible, appelée *photosphère**, n'est qu'une mince couche d'environ 200 km d'épaisseur. Audessus s'étendent la chromosphère* et la couronne* *(voir* figure). Depuis une vingtaine d'années, un domaine de recherche en plein essor est celui de l'héliosismologie (ou sismologie solaire), qui étudie les modes d'oscillation* du Soleil et favorise ainsi la connaissance de sa structure interne. Une énigme toujours irrésolue est celle de la déficience du nombre de neutrinos* solaires observés par rapport aux estimations théoriques.

ÉTUDE DU SOLEIL. Situé à 150 millions de kilomètres seulement, le Soleil présente le double avantage d'être une étoile extrêmement proche (Proxima du Centaure, l'étoile la plus proche du système solaire, est 270 000 fois plus lointaine !) et du type le plus courant. Son étude constitue de ce fait un moyen d'information permettant d'accéder à certains processus fondamentaux d'évolution des étoiles et de vérifier certaines hypothèses et méthodologies utilisées en astrophysique stellaire. Les observations spatiales viennent utilement compléter les observations faites au sol en autorisant l'étude du Soleil dans des domaines du spectre correspondant à des rayonnements arrêtés par l'atmosphère terrestre : rayonnements y, X et ultraviolet. Telle a été la mission confiée à de nombreux satellites placés en orbite autour de la Terre (par exemple, les satellites américains OSO* et SMM* le satellite japonais Yokkoh*, le satellite européen Soho*) ainsi qu'à des instruments embarqués à bord de stations spatiales (Skylab*, Saliout*, Mir*). Un autre domaine de recherche qui s'est beaucoup développé depuis l'avènement de l'ère spatiale est celui des relations entre les phénomènes de l'activité solaire et l'environnement (atmosphère, magnétosphère...) de la Terre. Parmi les satellites ayant apporté une contribution importante à ces recherches figurent les engins des séries OGO* et Explorer* (IMP ; Etats-Unis), ISEE* (États-Unis et Europe), Prognoz* (ex-URSS), Intercosmos* (Europe de l'Est)... Enfin, les sondes spatiales constituent des outils irremplaçables pour l'étude du vent solaire, de sa propagation dans le milieu interplanétaire et de ses interactions avec le champ magnétique des planètes (Pioneer*, Voyager*...) ou pour l'observation rapprochée au Soleil (Helios*, Ulysse*).

Coupe schématique de la structure du Soleil



Les particules chargées du vent* solaire piégées par le champ magnétique terrestre et qui peuplent les ceintures* de rayonnement entourant la Terre, ainsi que les rayonnements ionisants émis de façon brutale lors des éruptions solaires représentent des sources d'irradiation dangereuses pour les spationautes.

Soloviev (Anatoli L), cosmonaute russe (Riga, Lettonie, 1948).
Membre de cinq missions spatiales (entre 1988 et 1998), il a effectué une quinzaine de sorties extravéhiculaires (totalisant environ 75 h), ce qui représente une performance inégalée.

solstice n.m. (du latin *sol,* soleil, et *status,* de *stare,* s'arrêter). 1. Époque de l'année où le Soleil, dans son mouvement apparent sur l'écliptique, atteint sa plus forte déclinaison boréale ou australe, et qui correspond à une durée du jour maximale ou minimale. **2.** Point correspondant de la trajectoire apparente du Soleil sur l'écliptique.
ENCYCL. Les solstices sont situés sur le diamètre de l'écliptique perpendiculaire à la ligne des équinoxes*. Le passage du Soleil en ces points, le 21 ou le 22 juin et le 21 ou le 22 décembre, marque respectivement le début de l'été et celui de l'hiver, ou le jour le plus long et le jour le plus court de l'année dans l'hémisphère Nord. La situation est inverse dans l'hémisphère Sud. **saison**

solsticial, e, aux adj. Relatif aux solstices. *Point solsticial :* chacun des deux points de la sphère céleste pour lesquels la hauteur de culmination du Soleil, qui allait croissant (ou décroissant) passe par un maximum (ou un minimum).

Sombrero (galaxie du). Nom donné, en raison de son aspect, à la galaxie spirale M104, visible de profil, barrée par une large

PRINCIPALES DONNÉES RELATIVES AU SOLEIL	
Diamètre	1 391 000 km (~ 109 fois celui de la Terre)
Masse	2 • 10^{27} t (~ 333 000 fois celle de la Terre)
Composition (en masse)	~ 75 % d'hydrogène, - 25 % d'hélium
Densité moyenne	1,4 (~ 100 fois plus forte au centre)
Température de surface	5 770 K
Type spectral	G2 (étoile jaune)
Magnitude visuelle apparente	-26,8
Magnitude visuelle absolue	+ 4,8
Pesanteur à la surface	28 fois celle régnant sur la Terre
Distance moyenne à la Terre	- 149 600 000 km (unité astronomique de distance)
Localisation dans la Galaxie	à 28 000 années de lumière du centre
Période de rotation sidérale	25,4 j à l'équateur ; ~ 37 j aux pôles
Période de révolution autour du centre de la Galaxie	240 millions d'années
Âge	~ 5 milliards d'années

bande de poussières, dans la constellation de la Vierge.

sonde spatiale. Engin non habité destiné à l'étude rapprochée ou in situ d'astres du système solaire et/ou à l'exploration du milieu interplanétaire. Selon que la sonde est lancée vers une planète, vers une comète, ou n'est destinée qu'à étudier le milieu interplanétaire, on parle de sonde planétaire, cométaire ou interplanétaire.

ENCYCL. Les premières sondes spatiales ont été lancées en 1959, vers la Lune (sondes Luna) par l'ex-URSS, à qui l'on doit aussi le lancement en 1961, vers Vénus, de la première sonde planétaire (Venera 1). Depuis lors, plusieurs dizaines de sondes ont été lancées, presque exclusivement par les États-Unis et l'ex-URSS, la plupart pour l'étude de la Lune (Luna, Zond, Ranger, Surveyor, Lunar Orbiter) ou des planètes (Venera, Mars, Phobos, Mariner, Viking, Pioneer 10 et 11, Voyager, Galileo, Magellan, Mars Observer), les autres pour l'étude du Soleil et du milieu interplanétaire (sondes américaines Pioneer 5 à 9, sondes allemandes Helios, sonde européenne Ulysse) ou de comètes (sonde américaine ICE, sondes soviétiques Vega, sonde européenne Giotto, sondes japonaises Sakigake et Suisei).

LES CONTRAINTES. Pour parvenir au voisinage des planètes, toute sonde doit parcourir une très grande distance (quelques centaines de millions de kilomètres pour atteindre Mercure, Vénus ou Mars, davantage pour les autres), ce qui exige beaucoup de temps (de 3 à 4 mois pour Vénus, de 5 à 8 mois pour Mars, de 18 à 20 mois pour Jupiter...). D'où la nécessité de résoudre deux problèmes essentiels. D'abord, celui de la fiabilité du matériel : pour ce type de mission, il est indispensable de disposer de composants électroniques et d'instruments de mesure capables de fonctionner longtemps tout en résistant aux contraintes de l'environnement* spatial. Ensuite, le problème des transmissions : tout au long de son voyage, la sonde doit rester en contact avec la Terre (pour recevoir des ordres ou pour communiquer le résultat de ses mesures ou encore pour transmettre les photographies qu'elle a prises). Il faut donc la doter d'une puissante antenne d'émission, d'un dispositif de stabilisation pour la maintenir pointée vers la Terre et y associer une source d'énergie adaptée. Au sol, les stations de réception doivent également disposer de vastes antennes radioélectriques (de plusieurs dizaines de mètres de diamètre).

Autre conséquence des grandes distances mises en jeu : la nécessité, pour la sonde, d'assurer elle-même certaines manoeuvres sans compter sur l'aide des contrôleurs de la mission. Far exemple, au moment de son

atterrissage sur Mars, une sonde doit faire face à toute situation imprévue et, à l'aide de son ordinateur de bord, prendre toute décision nécessaire : par suite du délai de transmission, une « question » adressée à la Terre ne saurait en effet, dans ce cas, connaître de réponse avant une quinzaine de minutes.

Selon la mission envisagée, l'éloignement du Soleil (vols vers Jupiter ou au-delà) peut requérir la mise au point de nouvelles sources d'énergie (par exemple, des générateurs isotopiques) qui se substitueront aux panneaux solaires trop faiblement éclairés pour pouvoir délivrer une puissance électrique suffisante ; ou bien un rapprochement excessif du Soleil (mission vers Mercure) imposera l'utilisation de dispositifs de protection ou d'isolation thermique.

Enfin, dernière contrainte, et non des moindres, de l'exploration planétaire : la nécessité absolue de respecter la date de lancement prévue. Une mission planétaire est un véritable rendez-vous qui est organisé entre la planète visée et la sonde. Comme la planète ne saurait ralentir son mouvement ou modifier sa trajectoire, c'est la sonde qui doit se plier aux exigences de la mécanique céleste. Les périodes favorables au lancement d'une sonde spatiale (appelées « fenêtres de lancement ») se réduisent à quelques jours et ne se reproduisent qu'à des intervalles de plusieurs mois.

LES INSTRUMENTS SCIENTIFIQUES. Les instruments qu'emporte une sonde planétaire pour remplir sa mission comprennent généralement : une ou plusieurs caméras, pour la transmission de photographies (qui permettent ensuite de déterminer la période de rotation de l'astre observé, la dynamique de son atmosphère, etc.) ; des spectromètres et des photomètres pour l'analyse (nature, abondance, distribution) des constituants d'une éventuelle atmosphère ; un radiomètre (infrarouge) pour la mesure des températures (du sol, de l'atmosphère, des nuages...) ; divers détecteurs pour la mise en évidence d'une magnétosphère, de ceintures de rayonnement, d'émissions radioélectriques. À cet appareillage s'ajoutent des instruments destinés à l'étude du milieu interplanétaire que traverse la sonde avant d'atteindre l'astre vers lequel elle se dirige : des magnétomètres, pour la mesure des champs magnétiques, et différents capteurs ou détecteurs, pour l'étude des particules chargées, des rayonnements, des micrométéorites, du vent solaire, etc.

LES MISSIONS. Certaines sondes n'effectuent qu'un simple survol de l'astre visé et se limitent donc à une exploration rapide. Dans ce cas, il arrive qu'on mette à profit l'occultation de la sonde par l'astre pour étudier l'interaction entre les signaux émis par la sonde et l'atmosphère de l'astre, et en déduire des données sur cette dernière (épaisseur, pression, densité, température, etc.). Grâce à la technique d'assistance* gravitationnelle, plusieurs planètes peuvent être survolées successivement.

D'autres sondes se mettent en orbite autour de l'astre qu'elles doivent étudier : elles peuvent alors répéter les mêmes mesures un grand nombre de fois, ce qui permet d'obtenir une image globale, dans le temps et l'espace, de l'astre et de son environnement. Cette satellisation permet aussi d'augmenter la résolution spatiale des caméras et des autres instruments de télédétection ; de suivre l'évolution temporelle de phénomènes météorologiques, volcaniques ou autres ; d'effectuer des mesures d'altimétrie radar ou de gravimétrie (qui contribuent à une meilleure connaissance de la topographie et du champ gravitationnel de l'astre observé) ; et de mettre en œuvre des techniques d'analyse in situ (capsules de descente dans l'atmosphère, atterrisseurs, pénétrateurs).

Un troisième type de sondes est conçu pour se poser à la surface de l'astre à étudier. Les expérimentations mentionnées plus haut peuvent alors être complétées par des mesures portant sur l'atmosphère (composition, température, pression, vitesse des vents...) et le sol (texture, densité, propriétés physico-chimiques, activité sismique...). Au stade le plus élaboré, l'exploration in situ peut comporter le prélèvement et le retour sur la Terre d'échantillons du matériel constitutif de l'astre, en vue de leur analyse très poussée en laboratoire.

Dans tous les cas, l'analyse fine de la trajectoire d'une sonde planétaire peut contribuer à préciser la masse de la planète cible, de ses satellites et de leur champ de gravité.

L'ensemble des observations et des mesures

effectuées par les sondes spatiales concourt à la compréhension d'une multitude de problèmes se rattachant à la formation et à l'évolution des planètes et de leurs satellites, des astéroïdes ou des comètes, à l'interprétation de certains phénomènes terrestres, aux effets du rayonnement solaire et, d'une façon générale, à l'origine et à l'évolution du système solaire.

sortie dans l'espace. Désignation familière de l'activité à laquelle se livre un spationaute à l'extérieur de son vaisseau spatial. SYN : *activité extravéhiculaire*

ENCYCL. C'est l'une des phases les plus dangereuses d'une mission dans l'espace, car elle oblige le spationaute à quitter son enceinte protectrice et à évoluer dans un milieu très hostile (atmosphère différente ou inexistante, températures extrêmes, flux inhabituel de radiations et de micrométéorites). Il ne peut le faire que revêtu d'une combinaison adaptée, jouant le même rôle que son vaisseau. Ainsi protégé, il est en mesure de s'aventurer sur le sol lunaire ou martien.

Mais d'autres difficultés surgissent si cette sortie se déroule en orbite (donc en impesanteur) : dès qu'il s'éloigne de son vaisseau, le spationaute ne dispose plus du moindre point d'appui et tout déplacement devient quasiment impossible. Les premiers « piétons de l'espace » ont, pour cette raison, souvent été comparés à des nageurs débutants en train de se débattre pour ne pas couler. Fort heureusement un filin de sécurité (le cordon ombilical), relié à la capsule, les empêchait de se perdre dans l'espace.

Aujourd'hui, la partie externe des vaisseaux habités comporte un grand nombre de poignées pour aider aux déplacements ou au maintien dans une position donnée. De plus, les sorties extravéhiculaires font à présent l'objet d'une intense préparation spécifique durant l'entraînement. Celle-ci se déroule en piscine, qui constitue - au dire des intéressés - le meilleur endroit pour retrouver, sans quitter la Terre, des sensations assez proches de celles provoquées par l'état d'impesanteur et pour répéter, efficacement, les gestes à accomplir en orbite.

Les premières sorties dans l'espace ont eu lieu en 1965 :

- le 18 mars pour le Soviétique A. Leonov (durée : 10 minutes environ) ;
- le 3 juin pour l'Américain E. White (durée : 20 minutes environ), qui expérimenta un « pistolet à réaction » pour essayer de contrôler ses évolutions.

D'autres sorties, plus opérationnelles, ont été ensuite réalisées à l'occasion des missions américaines Gemini et, plus tard, Skylab. Mais c'est le programme Apollo d'exploration lunaire (1969-1972) qui a donné lieu aux activités extravéhiculaires les plus nombreuses (quatorze sorties) et les plus longues (durée totale supérieure à 80 h) : la deuxième des trois excursions lunaires des astronautes d'Apollo 17, en décembre 1972, est restée, jusqu'en mai 1992, la plus longue sortie effectuée par l'Homme dans le vide spatial (7 h 37 min).

L'intensification des vols habités, depuis le début des années 1980, s'est accompagnée d'un accroissement du nombre de sorties extravéhiculaires :

- d'une part, avec l'exploration des stations soviétiques Saliout 6, Saliout 7 (le 25 juillet 1984, S. Savitskaïa fut la première femme à travailler à l'extérieur d'un vaisseau spatial) et Mir. Pendant les treize premières années d'utilisation de celle-ci (février 1986-février 1999), une trentaine de cosmonautes ont accumulé, en plus de 70 sorties (auxquelles participèrent à chaque fois deux cosmonautes), près de 600 heures d'activités extravéhiculaires. Ces sorties répondaient à des nécessités d'ordre technologique (maintenance de la station : mise en place de générateurs solaires supplémentaires, inspection des systèmes d'amarrage, réparation d'une porte de sas ou d'une, protection thermique, etc.) ou scientifique (déploiement d'expériences, installation ou récupération d'échantillons exposés à l'environnement spatial, etc.) ;
- d'autre part, avec l'utilisation de la navette spatiale américaine. Pendant les dix-huit premières années de son exploitation (avril 1981-avril 1999), environ le quart des quatre-vingt treize missions réalisées ont donné lieu à une quarantaine de sorties dans l'espace de deux astronautes et à une sortie de trois astronautes : une quarantaine d'astronautes différents - dont trois femmes (K. Sullivan, la première Américaine à « mar-

cher dans l'espace », le 11 octobre 1984, K. Thornton et L. Godwin) - ont totalisé environ 500 heures d'activités extravéhiculaires (durées cumulées). Les tâches accomplies durant ces sorties furent, là encore, très variées : inspection de la soute, expérimentation de nouveaux outils ou équipements, déploiement de structures métalliques, réparation ou récupération de satellites en orbite, etc.

Les 13 et 14 mai 1992, la récupération et la remise en état du satellite Intelsat VI (F3) par l'équipage de l'orbiteur Endeavour ont donné lieu à la première sortie extravéhiculaire de trois astronautes (T. Akers, R. Hieb et P. Thuot), d'une durée record de 8 h 29 min.

soucoupe volante. Synonyme de objet volant non identifié. Appellation familière calquée sur la locution anglaise *flying saucer,* en raison de la forme souvent attribuée aux OVNI par ceux qui affirment en avoir observé.

sous-orbital, e adj. Synonyme de *suborbital.*

Soyouz (mot russe signifiant *union).* Vaisseau spatial que l'ex-URSS utilise pour tous ses vols habités depuis 1967.

ENCYCL. Soyouz a succédé aux premières capsules Vostok et Voskhod. La troisième génération (dite Soyouz TM) est en service depuis mai 1986 (28 vols pilotés effectués au 1er janvier 1999). Auparavant, cinquante-cinq vaisseaux avaient été lancés, donnant lieu à 38 vols pilotés de Soyouz A entre 1967 et 1981, et à 14 vols de Soyouz T entre 1981 et 1986.

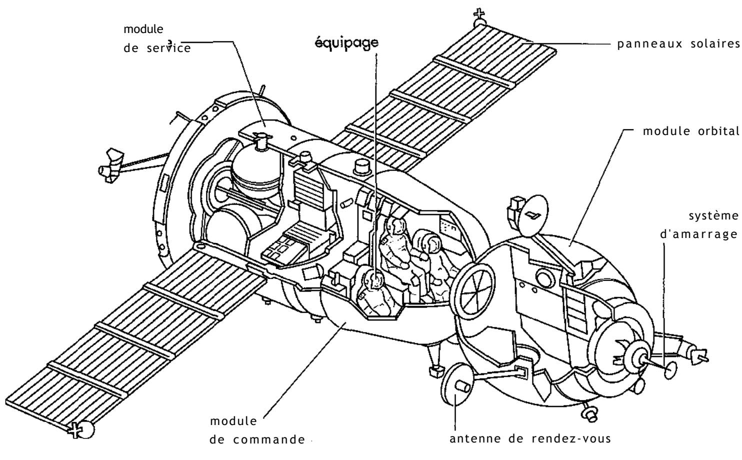
Naguère utilisé pour des vols autonomes prolongés, le Soyouz sert, depuis 1971, au transport de cosmonautes (trois au maximum) jusqu'aux stations orbitales qui gravitent entre 350 et 400 km d'altitude.

Trois éléments le composent :

- un compartiment orbital (de forme sphérique);
- une capsule de rentrée (conique) ;
- un module de service (cylindrique), dont le groupe propulsif et le générateur solaire assurent autonomie et manœuvrabilité à l'ensemble. Masse totale : 6,8 t. Volume habitable : 10 m^3. Charge utile : 50 kg (pour trois passagers) ou 230 kg (pour un passager).

Toujours lancé de Baïkonour, le Soyouz rejoint la station orbitale en moins de 48 h et s'y accroche. Il ne peut y rester plus de trois mois sous peine de dégradation. Leur mission terminée, les cosmonautes, y reprennent place pour revenir sur la Terre. Séparée des deux autres éléments, la capsule de rentrée leur permet (grâce à son bouclier thermique) de traverser sans dommages l'atmosphère, puis de descendre jusqu'au sol sous parachute. Elle n'est jamais réutilisée.

Vaisseau spatial **Soyouz** TM



So/ouz. Lanceur russe, version à trois étages de la fusée Zemiorka*, qui est utilisé pour la mise en orbite des vaisseaux Soyouz.

Space Command. Appellation du Commandement américain pour l'espace constitué le 1er septembre 1982, à Colorado Springs, et chargé de coordonner toutes les activités militaires dans l'espace, considéré comme un théâtre possible d'opérations.

Spacelab. Laboratoire spatial modulaire, polyvalent, habitable et réutilisable, conçu, mis au point, financé et construit par l'Agence spatiale européenne, pour être embarqué dans la soute des orbiteurs de la navette spatiale américaine.

ENCYCL. Le Spacelab représentait la contribution de l'Europe au système de transport spatial des États-Unis. Sa construction a été décidée en 1973, aux termes d'un accord entre la NASA et l'ESRO. Neuf États membres de l'Agence spatiale européenne (Allemagne, Belgique, Danemark, Espagne, France, Italie, Pays-Bas, Royaume-Uni et Suisse) ainsi qu'un État associé (Autriche) ont participé à sa construction, les contributions les plus importantes ayant été celles de l'Allemagne (54,9 %), de l'Italie (15,6 %) et de la France (10,3 %). Une cinquantaine de sociétés réparties dans ces dix pays ont contribué à son développement, le maître d'œuvre étant la firme allemande VTW Emo (devenue ensuite MBB-Erno). L'investissement européen a représenté près d'un milliard de dollars.

STRUCTURE. Le Spacelab se composait de deux éléments principaux : un laboratoire pressurisé habitable, appelé « module », dans lequel des chercheurs pouvaient travailler sans avoir à revêtir des combinaisons spatiales, et des plates-formes non pressurisées appelées « porte-instruments » et conçues, comme leur nom l'indique, pour le montage d'instruments tels que des télescopes, des capteurs et des antennes devant être exposées directement à l'environnement spatial. Ces éléments pouvaient être utilisés séparément ou ensemble, être ramenés sur la Terre et réutilisés lors d'autres missions.

MISSIONS. Le premier vol, Spacelab 1, a eu lieu du 28 novembre au 8 décembre 1983, lors de la 9e mission de la navette américaine.

C'était une mission commune ESA/NASA : le laboratoire, constitué d'un module pressurisé long et d'un seul porte-instruments, accueillit alors 6 astronautes, dont l'Allemand Ulf Merbold (1er astronaute de l'Agence spatiale européenne à effectuer un vol spatial), et permit la réalisation de 72 expériences (57 européennes représentant 50 % de la charge utile, 14 américaines et 1 japonaise) concernant principalement la science des matériaux, la cristallographie, les sciences de la vie, l'astronomie et la physique de l'atmosphère.

Les États-Unis ont utilisé le Spacelab pour la mise en œuvre de nombreuses expériences concernant la physico-chimie de l'atmosphère (Atlas*), les sciences de la vie (SLS*), les recherches en micropesanteur (IML, USML), etc. Pour certains vols, réalisés en collaboration bilatérale, la charge utile a été fournie par l'Allemagne. Ces vols sont dénommés Spacelab D, la lettre D, initiale de *Deutschland,* rappelant la participation de l'Allemagne : le premier de ces vols, Spacelab D1, a eu lieu du 30 octobre au 6 novembre 1985, lors de la 22e mission de la navette ; parmi les huit astronautes de l'équipage figuraient deux Allemands de l'Ouest et un Néerlandais. Un vol, dénommé « Spacelab J », du 12 au 18 septembre 1992, lors de la 50e mission de la navette, a été réalisé en collaboration avec le Japon, qui a fourni l'essentiel de la charge utile et a pu ainsi voir figurer l'un de ses astronautes parmi les membres de l'équipage.

Deux Spacelab ont été construits. Ils ont, au total, effectué 22 missions dans l'espace, la dernière en avril 1998.

Spacenet. Système américain de télécommunications intérieures par satellites.

ENCYCL. Les satellites offrent des services dans les bandes de fréquences C (4/6 GHz) et Ku (12/14 GHz). Quatre ont été lancés par des fusées Ariane, entre 1984 et 1988 : Spacenet 1, charge utile du premier vol commercial d'Ariane, le 22 mai 1984, fut le premier satellite américain lancé par la fusée européenne ; Spacenet 3, lancé le 12 septembre 1985, lors du 15e vol d'Ariane, ne put être mis en orbite par suite de la défaillance du troisième étage du lanceur.

spaceport n.m. Néologisme américain utilisé parfois pour désigner une base spatiale. SYN : *port spatial*

spallation n.f. (de l'anglais *to spall,* éclater). Éclatement d'un noyau atomique en nucléons ou en noyaux plus légers sous l'effet d'une particule incidente très énergétique. Dans le milieu interstellaire, le rayonnement cosmique interagissant avec la matière produit ainsi des noyaux légers [lithium, bore...] qui ne peuvent se former à l'intérieur des étoiles.

Spartan (acronyme de l'angl. *Shuttle Pointed Autonomous Research Tool for AstroNomy,* pointeur astronomique autonome pour la navette). Plate-forme porteuse d'instruments d'observation astronomique, qui est larguée dans l'espace puis récupérée après quelques jours de vol autonome, à l'aide de la navette américaine.
Un premier vol de cette plate-forme a eu lieu en 1985, pour l'étude des émissions de rayonnement X de sources extragalactiques.

spatiabilisation n.f. Action de spatiabiliser.

spatiabiliser v.t. Rendre un matériel apte à supporter les conditions de lancement et d'environnement spatial, telles que vibrations, variations de température, vide et rayonnement cosmique.

spatial,e adj. **1.** Qui est situé dans l'espace : *un engin spatial.* **2.** Qui se rapporte à l'espace : *la technologie spatiale.* **3.** Qui utilise des systèmes spatiaux : *la météorologie spatiale.*

spatialisation n.f. Action de spatialiser.

spatialiser v.tr. Envoyer dans l'espace.

spatiocarte n.f. Carte obtenue à partir de données collectées par les satellites d'observation, éventuellement combinées avec d'autres informations. Elle peut concerner aussi bien la Terre que d'autres planètes ou leurs satellites naturels.

spatiologie n.f. Ensemble des sciences et des techniques spatiales.

spationaute n.m ou f. Occupant d'un vaisseau spatial, quelle que soit sa nationalité. SYN : *astronaute, cosmonaute*

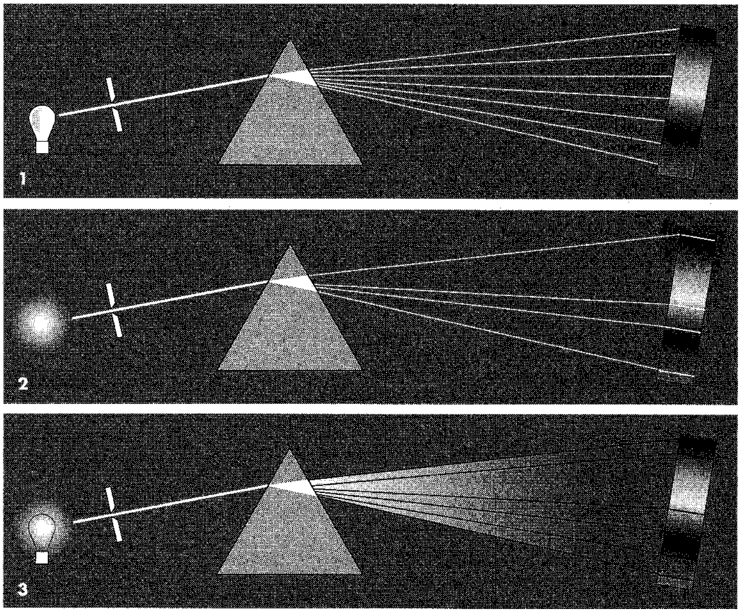
spationautique n.f. Synonyme de astronautique.

speckle n.f. (mot angl. signifiant *tavelure). Interférométrie speckle :* synonyme de interférométrie des tavelures*.

spectral, e, aux adj. Relatif au spectre. *Analyse spectrale :* analyse qualitative et quantitative d'une substance à l'aide du ou des divers spectres (émission, absorption, diffusion, fluorescence) qu'elle peut fournir.
ENCYCL. La présence d'un spectre d'une entité (atome, molécule) est la preuve de la présence de cette entité dans la substance. L'intensité des composantes de ce spectre est liée à la concentration de l'entité en question dans la substance.
L'analyse spectrale est une méthode fondamentale de l'astrophysique : elle s'applique au rayonnement des astres (Soleil, étoiles, galaxies, etc.) dont elle permet de déterminer la constitution et les conditions physiques des régions responsables des spectres étudiés.

spectre n.m. 1. Ensemble des radiations monochromatiques résultant de la décomposition d'une lumière ou, plus généralement, d'un rayonnement complexe. **2.** Ensemble des radiations émises, absorbées, diffusées, etc., par un élément, une espèce chimique, dans des conditions déterminées.
ENCYCL. Les spectres obtenus en dispersant en longueur d'onde (par un prisme ou un réseau) la lumière reçue des étoiles comportent un fond coloré continu - appelé *spectre continu* - sur lequel se détachent pour certaines longueurs d'onde des accidents correspondant à un manque de lumière, appelés *raies d'absorption* ; pour quelques étoiles particulières, peu nombreuses, il peut y avoir au contraire des renforcements de lumière - appelés *raies d'émission* - pour certaines longueurs d'onde (*voir* figure). L'analyse des raies observées et l'interprétation des spec-

Spectre



1. La lumière blanche est décomposée *par le prisme en bandes colorées aux teintes de l'arc-en-ciel* (Spectre continu, *ou* continuum).
2. Un gaz léger porté à l'incandescence donne des raies brillantes de longueurs d'onde spécifiques (spectre d'émission) ; *la disposition des raies est caractéristique de la substance émissive.*
3. Le même gaz interposé devant la source de lumière blanche absorbe certaines des radiations émises par cette source; on observe cette fois des raies sombres (spectre d'absorption).

très à partir des lois régissant la distribution des états possibles pour chaque élément chimique placé dans certaines conditions de température et de pression permettent de déduire la composition chimique et les conditions physiques qui régnent dans les atmosphères stellaires. La couleur d'une étoile reflète, grossièrement, sa température superficielle : une étoile chaude comme Rigel est bleue ; le Soleil est jaune ; une étoile très froide comme Antarès est rouge. Cela signifie que le spectre d'une étoile est d'autant plus riche en rayonnement de courte longueur d'onde - bleu ou même ultraviolet - que l'étoile est plus chaude.
Le spectre de raies est très différent suivant la température des atmosphères stellaires, ce qui a permis de classer les étoiles par types spectraux. Les classifications* spectrales sont empiriques. Les systèmes de classification qualitatifs les plus répandus reposent sur la classification développée à Harvard, au début du siècle. Les types spectraux sont dénommés, des types chauds vers les types froids, par les lettres suivantes de l'alphabet : O, B, A, F, G, K, M. On peut retenir cette séquence à l'aide de la phrase anglaise *: O Be A Fine Girl, Kiss Me !* Chaque type est divisé en 10 sous-types, de 0 à 9.
Ce sont les rapports d'intensité de certaines raies, de même que la simple présence ou absence de certaines raies, qui constituent les critères de classification.

Spectre. Module dédié à la géophysique, destiné à accroître le volume utile et la capacité de recherche de la station orbitale russe Mir*.
D'une masse de 21,8 t (23,5 t avec le combustible), il a été lancé par une fusée Proton le 20 mai 1995 et s'est amarré à la station

Mir le 1er juin. Endommagé le 25 juin 1997, lors d'une collision avec un vaisseau Progress, le module Spectre a dû être condamné.

spectrographe n.m. Appareil équipé d'un récepteur d'images qui explore le spectre dans l'espace (plaque photographique, récepteurs photoélectriques d'image).
ENCYCL. Les spectrographes possèdent un système dispersif (prisme, réseau), comme les spectromètres, mais ils reçoivent et enregistrent sous forme d'image la totalité des radiations dispersées.

spectrographie n.f. Étude des spectres au moyen du spectrographe.

spectrohéliographe n.m. Spectrographe à haute résolution, utilisé pour l'étude du spectre solaire.
ENCYCL. Un spectrohéliographe comporte une fente sélective permettant d'analyser la lumière émise par le Soleil, à une longueur d'onde choisie dans son spectre et qui est le plus souvent celle d'une raie particulière.
Des versions plus récentes de cet instrument comportent plusieurs fentes permettant l'étude simultanée de plusieurs raies.
Des analyseurs divers peuvent être installés derrière l'instrument : plaques photographiques, films, cellules photoélectriques, réseaux de diodes... Un système de balayage permet de reconstituer une image, dite monochromatique, du disque solaire.

spectromètre n.m. Appareil destiné à la mesure de la répartition d'un rayonnement complexe en fonction de la longueur d'onde ou de la fréquence s'il s'agit d'ondes, de la masse ou de l'énergie des particules individuelles s'il s'agit de particules. *Spectromètre de masse :* appareil d'analyse physico-chimique permettant l'étude des ions ou des molécules chargées formés à partir d'un échantillon dans des conditions appropriées.
ENCYCL. Les spectromètres sont constitués d'un système dispersif (prisme, réseau, interféromètre, etc.) qui décompose le rayonnement à étudier et soit d'un récepteur transmettant à chaque instant une seule fréquence et procédant à un balayage du spectre (spectromètre à un seul canal), soit d'un grand nombre de récepteurs qui analysent simultanément de nombreux éléments du spectre.

spectrométrie n.f. 1. Étude des spectres effectuée à l'aide de spectromètres. **2.** Application de la spectroscopie aux méthodes physiques d'analyse par la mesure qualitative (fréquence) et quantitative (intensité) des radiations.

spectrophotomètre n.m. Appareil associant un spectromètre, utilisé en monochromateur, et un dispositif photométrique permettant de comparer la répartition spectrale de deux rayonnements.
ENCYCL. Le spectrophotomètre est surtout utilisé pour étudier l'absorption des diverses substances. Il permet, par exemple, de mesurer la transparence d'une atmosphère planétaire à diverses longueurs d'onde et d'en déduire le contenu en aérosols.

spectroscope n.m. Instrument permettant l'observation visuelle des spectres*.

spectroscopie n.f. Ensemble des méthodes et des techniques d'étude des spectres*, visant en particulier à déterminer la composition chimique et les conditions physiques des sources de rayonnement correspondantes.

SPELDA (sigle de Structure Porteuse Externe pour Lancements Doubles Ariane). Structure mise en place au sommet des lanceurs Ariane 4 afin d'emporter simultanément jusqu'à trois satellites. Elle est réalisée en nid d'abeilles d'alliage d'aluminium avec un revêtement en fibres de carbone et existe en deux hauteurs (2,8 et 3,8 m).

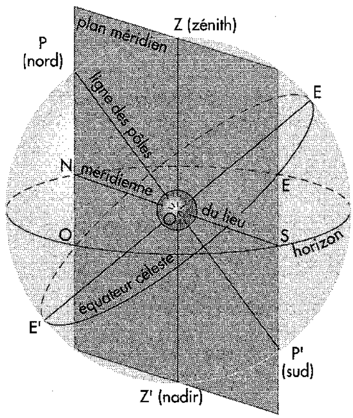
Speltra (sigle de Structure Porteuse Externe pour Lancements TRiples Ariane). Structure porteuse éventuellement installée au sommet d'un lanceur Ariane 5, sous la coiffe, en cas de lancement de deux ou trois gros satellites. De forme cylindrique ; diamètre : 5,4 m ; hauteur : 7 m ; volume interne : 138 m^3 ; masse : 850 kg.)

sphère armillaire. Assemblage de cercles (ou *armilles)* en métal, en bois ou en

carton figurant les principaux cercles de la sphère céleste, au centre desquels est placé un petit globe représentant la Terre ou le Soleil, et reposant sur un pied, que l'on utilisait autrefois comme instrument d'observation, de démonstration ou à des fins décoratives.

sphère céleste. Sphère fictive, de rayon indéterminé, ayant pour centre l'œil de l'observateur et servant à définir la direction des astres indépendamment de leur distance.
ENCYCL. On distingue la sphère des fixes, liée aux astres lointains (étoiles, galaxies), sur laquelle les points de repère (pôles de l'écliptique, centre galactique, etc.) sont indépendants du lieu d'observation, et la sphère céleste locale, dont les éléments sont spécifiques de ce lieu (zénith, nadir, points cardinaux, horizon, méridien).
La sphère céleste, à laquelle semblent fixées les étoiles, tourne autour d'une ligne PP', dite ligne des pôles ou axe du monde (*voir* figure). Le plan EE", qui lui est perpendiculaire, constitue l'équateur céleste. Ce mouvement s'effectue dans le sens des aiguilles d'une montre pour un observateur placé le long de l'axe de rotation dans l'hémisphère Nord. Soit ZZ' la verticale correspondant à cet observateur (Z s'appelle le zénith*, Z' le nadir*) : le plan perpendiculaire à cette verticale et sur lequel se trouve l'observateur constitue l'horizon* ; le plan formé par les droites ZZ' et PP' est le plan méridien du lieu ; sa trace NS sur l'horizon constitue la méridienne du lieu. La direction ON est celle du nord, la direction OS est celle du sud. La direction perpendiculaire horizontale est la ligne est-ouest : un observateur regardant vers le nord a l'est à sa droite.

Sphère céleste



Spica (nom latin signifiant *Épi).* Étoile a de la Vierge. Magnitude apparente visuelle : 0,9 (variable). Type spectral : B1. Distance : 270 années de lumière. Rayon : 7,8 fois celui du Soleil. Cette étoile est l'une de celles qui permirent à Hipparque* de découvrir la précession des équinoxes, en comparant leur position dans le ciel, telle qu'il l'observait, à celle indiquée notamment par Timocharis deux siècles auparavant.

spicule n.m. Élément constitutif de la chromosphère solaire.
ENCYCL. Jets fins de matière se présentant en rangs serrés à la frontière de supergranules, les spicules sont visibles tout autour du limbe du Soleil dans les raies de la série de Balmer* ainsi que dans d'autres raies chromosphériques du spectre solaire. Leur diamètre moyen est de 1 000 km, pour une hauteur de 6 000 à 10 000 km et une température de 10 000 à 20 000 K. Leur durée de vie est de l'ordre de 5 à 10 minutes. Ils paraissent jaillir de la basse chromosphère à une vitesse de l'ordre de 20 à 30 km/s.

spiral, e, aux adj. Qui a la forme d'une spirale. *Galaxie spirale :* galaxie dont les étoiles brillantes et les nébuleuses sont réparties dans des bras ayant une forme spiralée (bras spiraux) autour d'un noyau central.

Spitzer (Lyman), astronome américain (Toledo, Ohio, 1914-Princeton, Californie, 1997).
On lui doit d'importants travaux sur la physique des galaxies et la formation des étoiles. En cosmogonie du système solaire, il a mis fin aux théories « catastrophiques » en montrant qu'un filament de matière arraché au Soleil se volatilise instantanément et ne peut donc pas être à l'origine des planètes.

Spôrer (Gustav Friedrich Wilhelm), astronome allemand (Berlin 1822-Giessen 1895). Il a découvert la migration des taches solai-

res au cours d'un cycle undécennal de l'activité solaire : les premières taches du cycle apparaissent à haute latitude (40 à 50°) mais, au fur et à mesure de l'évolution du cycle, les nouvelles taches émergent à des latitudes de plus en plus basses, les dernières ne s'écartant que de 5 à 10° de l'équateur lors de leur apparition (c'est ce qu'on appelle la *loi de Spôrer).*

SPOT (sigle de Satellite Pour l'Observation de la Terre). Programme de satellites civils d'observation de la Terre réalisé par la France, avec la participation de la Suède et de la Belgique.

ENCYCL. Le programme SPOT a été engagé en 1978 par le gouvernement français sur une base essentiellement nationale, avec la participation de la Suède et de la Belgique. Le système SPOT est constitué, d'une part, de satellites et, d'autre part, d'infrastructures terrestres de contrôle, de programmation des prises de vues et de production d'images. La commercialisation des images est assurée par SPOT Image, créé en 1982.

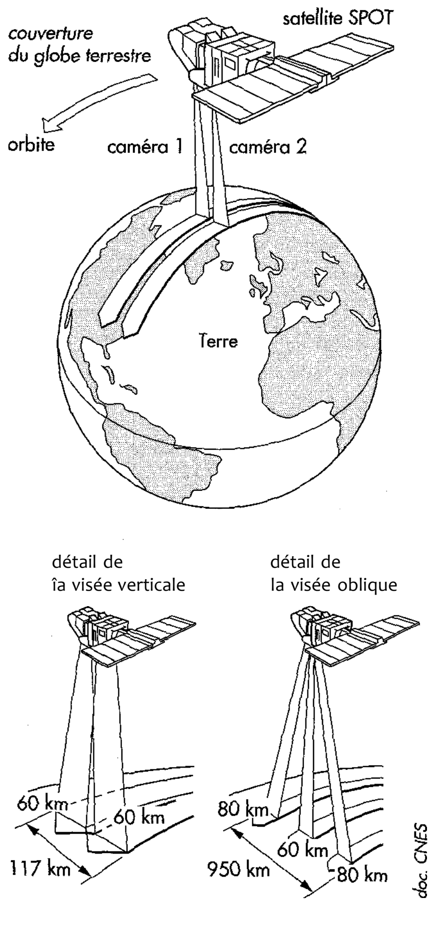
APPAREILLAGE ET FONCTIONNEMENT. Les satellites SPOT (*voir* figure) décrivent une orbite quasi polaire, héliosynchrone (c'est-à-dire dont le plan conserve toujours la même orientation par rapport à la direction Terre-Soleil), à 830 km environ d'altitude. Ils comportent deux instruments de prise de vues à haute résolution, dits HRV (Haute Résolution dans le Visible), permettant d'obtenir soit des vues en couleurs (résultant d'un enregistrement dans le vert, ie rouge et le proche infrarouge) avec une résolution de 20 m au sol, soit des vues en noir et blanc avec une résolution de 10 m, privilégiant la finesse géométrique de l'image. En visée verticale, le champ d'observation de chaque instrument couvre 60 km de large au sol ; le champ total pour les deux instruments est de 117 km (compte tenu d'un recouvrement de 3 km), ce qui assure la couverture complète de la Terre en 26 jours.

Mais il est possible de faire varier la direction d'observation en décalant l'axe de visée jusqu'à + ou -27° de la verticale du satellite par rapport au plan de l'orbite.

Cette possibilité de visée oblique permet d'augmenter la fréquence d'observation de sites spécifiques : une même zone peut ainsi être observée jusqu'à 11 fois sur une période de 26 jours, pour favoriser l'étude de phénomènes à évolution rapide comme le mûrissement des cultures. Enfin, des images précises en relief peuvent être obtenues à partir de couples d'images stéréoscopiques d'une même scène, prises sous des angles différents. Ce mode d'exploitation est appelé *visée en oblique de part et d'autre de la trace du satellite.*

Le programme de travail est transmis périodiquement par le centre de mission et le réseau de télécommande aux satellites, qui le mettent en mémoire. Les données « image » sont enregistrées à bord des satel-

Fonctionnement d'un satellite SPOT



lites en attendant d'être retransmises à des stations de réception au sol pendant les périodes où les satellites sont visibles de ces stations. Le flux de données reçu est fractionné en scènes de 60 x 60 km pour mise en mémoire, et un catalogue est établi pour consultation par les utilisateurs. Ces scènes, après avoir été éventuellement soumises à un traitement (étalonnage, corrections géométriques, traitement spécial pour une application spécifique), sont livrées aux utilisateurs sous forme de photographies, sur une bande magnétique exploitable sur ordinateur ou sur cédéroms. Les données recueillies permettent l'établissement et la mise à jour des inventaires de ressources terrestres telles que les ressources minérales, la végétation, les cultures permanentes, et le suivi de leur évolution par suite des phénomènes naturels ou de l'activité humaine. La cartographie terrestre et la surveillance de l'aménagement du territoire sont des exemples d'autres applications importantes.

→ télédétection

LES SATELLITES. SPOT 1 a été lancé le 22 février 1986, par une fusée Ariane. Retiré du service opérationnel le 31 décembre 1990, il a été réactivé en avril 1992 pour satisfaire aux demandes croissantes de la clientèle en imagerie. Lancé le 22 janvier 1990, SPOT 2 est en service opérationnel. Sa charge utile d'observation est semblable à celle de SPOT 1, mais il expérimente en outre le système DORIS* de localisation de haute précision. SPOT 3, semblable aux deux premiers satellites de la série, a été lancé le 26 septembre 1993 mais est tombé en panne le 14 novembre 1996. SPOT 4 a été lancé le 24 mars 1998 en vue d'assurer la pérennité du système jusqu'à l'an 2000. Par rapport à ses prédécesseurs, il dispose d'une durée de vie plus longue, qui devrait atteindre cinq ans. De plus, pour mieux répondre aux souhaits des utilisateurs, ses instruments de prise de vues ont été améliorés par l'adjonction d'une capacité d'observation dans le moyen infrarouge. Le développement de ce satellite s'effectue parallèlement à celui du satellite d'observation militaire Hélios* 1, qui utilise une plate-forme analogue mais avec un pouvoir de résolution supérieur. En 1994, le Gouvernement a décidé d'engager le programme SPOT 5 ; un satellite, aux performances améliorées (résolution des images portée à 5 m et même 3 m pour certains produits dits Supermode), pourrait être lancé vers 2002.

SPOT Image. Société anonyme française créée le 1er juillet 1982 pour assurer la promotion du système SPOT ainsi que la reproduction, le traitement et la diffusion des données fournies par ce système.

ENCYCL. Ses actionnaires sont : des organisations représentant les gouvernements qui participent au programme SPOT (CNES : 34,5 % ; Swedish Space Corporation : 6 % ; Société nationale d'investissement, Belgique : 2 %) ; des firmes industrielles contribuant à la fabrication des secteurs spatial ou terrien de SPOT (Matra Marconi Space : 23 %; SEP: 11,25 %; autres firmes: 1,2 %) ; des organismes concernés par les applications de l'imagerie spatiale (Institut géographique national: 11,25 %; Institut français du pétrole : 3,3 % ; Bureau de recherches géologiques et minières : 1 % ; Telespazio, Italie : 2,3 %) ; et des banques (Crédit Lyonnais, BNP, *Société générale,* Paribas : 4,2 %). Elle comprend des filiales étrangères (États-Unis, Australie, Asie), des stations de réception (23 à l'été 1999) et des centres de distribution de données répartis à travers le monde.

ADRESSE: B.P. 4359, 31030Toulouse cedex 04.

Spoutnik (mot russe signifiant *compagnon).* Premiers satellites artificiels de la Terre lancés par l'ex-URSS.

ENCYCL. Le lancement de Spoutnik 1, le 4 octobre 1957, ouvrit l'ère spatiale. L'engin était extrêmement simple : une sphère en aluminium de 58 cm de diamètre, à laquelle étaient fixées deux paires d'antennes, longues de 2,4 m et 2,9 m respectivement. Cette sphère était remplie d'azote et contenait essentiellement des batteries chimiques alimentant deux émetteurs radio de 1 W, qui fonctionnaient sur 20,005 et 40,002 MHz. Pesant 83,6 kg, le satellite tournait autour de la Terre en un peu plus de 96 minutes, à une altitude variant entre 228 et 947 km. Il émit des signaux jusqu'à l'épuisement de ses batteries, le 26 octobre 1957, avant de retomber

dans les couches denses de l'atmosphère et de s'y désagréger, le 4 janvier 1958.
Dépourvu d'appareillage scientifique, Spoutnik 1 était principalement destiné à tester sa fusée porteuse, la R-7, ou Zemiorka*. Dès le 3 novembre 1957 fut placé en orbite Spoutnik 2, à la mission beaucoup plus ambitieuse. Cet engin de 508 kg emportait à son bord une petite chienne, Laïka (premier être vivant satellisé), ainsi qu'un appareillage destiné à enregistrer son comportement en impesanteur. L'animal mourut au bout d'une semaine de vol, après l'épuisement des batteries chimiques qui entretenaient le système de régénération de l'air de son habitacle. Cette expérience révéla qu'un organisme animal supporte bien la mise en orbite et quelques jours en impesanteur; résultat capital pour la préparation des vols spatiaux humains. Spoutnik 2 poursuivit silencieusement sa ronde autour de la Terre jusqu'à sa retombée dans l'atmosphère le 14 avril 1958.

Spoutnik 3, placé sur orbite le 15 mai 1958, était un laboratoire automatique de 1 327 kg renfermant 968 kg d'appareils scientifiques, valeur record qui resta inégalée pendant dix ans. Sa charge utile comportait 12 instruments qui fournirent jusqu'en juillet 1959 de nombreux renseignements sur l'environnement de la Terre (mesure de la pression et de la composition de la haute atmosphère, des champs magnétique et électrostatique, du flux de micrométéorites, de la concentration en particules chargées etc.). Ses mesures permirent notamment d'établir l'existence d'une ceinture de rayonnement extérieure à celle décelée par le satellite américain Explorer 1. Le satellite retomba le 6 avril 1960.
Spoutnik 4 à 10, lancés en 1960 et 1961, furent des prototypes du vaisseau Vostok*, testés en orbite soit en vol automatique, soit avec des chiens ou des mannequins.

Spoutnik 40 ans (alias PS 2 ou RS 17).Un des rares satellites artificiels mis en orbite manuellement.
ENCYCL. Construite par des élèves russes et des élèves français, dans le cadre d'un projet coordonné par la Fédération astronautique de Russie et l'Aéro-Club de France, cette maquette à l'échelle 1/3 du premier satellite artificiel a été lancée à la main par le cosmonaute russe Pavel Vinogradov, le 3 novembre 1997, au cours d'une sortie extravéhiculaire depuis la station Mir, pour commémorer le 40e anniversaire du lancement de Spoutnik 1.
Cette petite sphère de 20 cm de diamètre, pesant environ 3 kg, a émis pendant près de deux mois pour les radioamateurs du monde entier, puis a été détruite en rentrant dans l'atmosphère le 21 mai 1998.

SRET (sigle de Satellite de Recherches et d'Etudes Technologiques). Nom donné aux satellites technologiques français lancés par l'URSS en même temps qu'un satellite Molnia, dans le cadre de la coopération spatiale entre les deux pays.
ENCYCL. SRET 1 a été lancé le 4 avril 1972 afin de tester, en milieu spatial, la dégradation de cellules solaires françaises. Il rentra (et fut détruit) dans l'atmosphère le 13 juillet 1973 après 966 révolutions terrestres et 737 enregistrements de télémesure. SRET 2, lancé le 5 juin 1975, emportait un système radiatif du même type que celui qui devait équiper le futur satellite Météosat afin de tester sa capacité à refroidir (jusqu'à environ -170 °C) les détecteurs infrarouges du système de prise de vues. Son comportement fut satisfaisant.

Sriharikota. Principale base de lancement de l'Inde, dans l'île du même nom, à une centaine de kilomètres de Madras. Coordonnées géographiques : 13,9°N., 80,4° E.
ENCYCL. Cette base est exploitée par l'ISRO (Indian Space Research Organization). Des lancements de fusées-sondes y sont effectués depuis 1971 et c'est le site d'ooù décollent, depuis 1980, les lanceurs indiens (SLV, ASLV, PSLV). La base abrite, par ailleurs, de nombreux bancs d'essai de moteurs-fusées et une unité de production d'ergols.

SS Cygni (étoile). Type de nova naine qui présente des sursauts d'éclat (de 2 à 6 magnitudes) durant plusieurs jours.

SSO (sigle de l'angl. *Sun-Synchronous Orbit).* Abréviation couramment utilisée pour désigner une orbite héliosynchrone.

SSTO (sigle de l'angl. *Single. Stage To Orbit,* en orbite avec un seul étage). Concept futu-

riste de lanceur récupérable, à décollage horizontal, qui serait capable de satelliser une charge utile en orbite terrestre basse en n'utilisant qu'un seul étage. #• **TSTO**

stabilisation n.f. Maintien de l'orientation d'un engin spatial entre des limites fixées.
ENCYCL. On distingue :
- la stabilisation à trois axes (dans ce cas, l'engin est maintenu fixe par rapport à un trièdre de référence ; les satellites SPOT et de nombreux satellites géostationnaires sont de ce type) ;
- la stabilisation gyroscopique (obtenue par mise en rotation de l'engin autour d'un axe qui se comporte alors comme un gyroscope pointé vers une direction fixe de l'espace ; les satellites Météosat sont de ce type) ;
- la stabilisation par gradient de gravité (obtenue en mettant à profit la différence de gravité existant entre les extrémités d'un engin de grandes dimensions ; l'orbiteur de la navette américaine y recourt en certaines occasions).

Stardust. Sonde américaine destinée à l'exploration de la comète Wild 2.
ENCYCL. Quatrième sonde du programme Discovery* de la NASA, pesant 380 kg, elle a été lancée le 7 février 1999. Après un retour près de la Terre le 16 janvier 2001, pour bénéficier de l'assistance* gravitationnelle de notre planète, elle suivra une trajectoire qui l'amènera à survoler le noyau de la comète Wild 2, d'une distance de 160 km, le 1er janvier 2004 ; elle doit en prendre des photographies, étudier la composition chimique des gaz qui s'en échappent et prélever des poussières de la chevelure de cette comète au moyen de 132 collecteurs constitués de cubes d'aérogel. Ceux-ci seront ensuite enfermés dans une petite capsule qui reviendra vers la Terre et devrait atterrir, freinée par un parachute, le 16 janvier 2006.

Starlette (acronyme de Satellite de Taille Adaptée avec Réflecteurs Laser pour les ÉTudes de la TErre). Satellite géodésique français lancé le 6 février 1975.
ENCYCL. De forme sphérique, très dense (grâce à son cœur d'uranium 238, isotope non radioactif), il n'emporte aucun instrument scientifique : c'est un satellite passif. Son utilité réside dans les 60 réflecteurs insérés dans sa surface : ceux-ci servent de cible à des tirs laser (effectués depuis le sol), ce qui permet de mesurer, avec une grande précision (aujourd'hui, quelques centimètres), la distance du satellite et de déterminer son orbite. Starlette a servi à étudier le champ de gravité et l'élasticité de la Terre, les marées terrestres et océaniques, les irrégularités du mouvement des pôles, le mouvement des plaques tectoniques, etc.
Son orbite et sa densité élevée lui confèrent une espérance de vie de plusieurs milliers d'années.

STARS (sigle de l'angl. *Seismic Telescope for Astrophysical Research front Space,* télescope sismique pour la recherche astrophysique depuis l'espace). Projet de satellite d'astronomie proposé comme troisième mission de taille moyenne du programme scientifique Horizon* 2000 de l'Agence spatiale européenne. Son principal objectif serait l'étude des oscillations des étoiles (astérosismologie), qui constituent une source précieuse d'informations sur leur structure interne.

Starsem. Société anonyme créée le 17 juillet 1996 par la France (Arianespace et Aérospatiale) et la Russie (RRA et le Centre spatial de Samara) pour l'exploitation industrielle et commerciale sur le marché mondial des lanceurs Soyouz, en particulier pour les missions en orbite basse ou moyenne de petits satellites et de constellations. Son siège est à Suresnes (Hauts-de-Seine).
La première fusée commercialisée par la société Starsem, un lanceur quadriétage Soyouz-Ikar, a été lancée, de Baïkonour, le 9 février 1999 et a placé sur orbite quatre satellites Globalstar*.

Start 1. Lanceur russe de petits satellites.
ENCYCL. Dérivé de missiles stratégiques SS-25, il comprend quatre étages à poudre, a 22,7 m de hauteur et pèse 47 t. Sa capacité maximale de mise en orbite est de 500 kg en orbite polaire basse. Un premier lancement a été réussi le 25 mars 1993. Une version à cinq étages est en développement.

station ni. Phase du mouvement apparent d'une planète dans le ciel, durant laquelle celle-ci semble temporairement immobile parmi les étoiles.

station-aval ni. Installation terrestre située en visibilité d'une portion de la trajectoire d'un lanceur et utilisée pour communiquer avec lui lorsqu'il se trouve hors de portée de sa base de lancement, à cause de la courbure de la Terre.
ENCYCL. Pour recueillir continûment les données (télémesure et localisation radar) jusqu'à la mise sur orbite, plusieurs stations-aval complémentaires sont nécessaires. Par exemple, pour tout lancement d'Ariane 5, le Centre spatial guyanais exploite successivement les stations de Natal (Brésil), de l'île d'Ascension, de Libreville (Gabon), de Malindi (Kenya) et de Hartebeesthoek (Afrique du Sud).

station orbitale. Installation spatiale en orbite autour de la Terre ou d'un autre astre, ne disposant pas de moyens de propulsion autonomes ou ne disposant que de moyens de propulsion réduits, et destinée à assurer une ou plusieurs missions déterminées avec une certaine permanence.
-• **Skylab, Saliout, Mir**

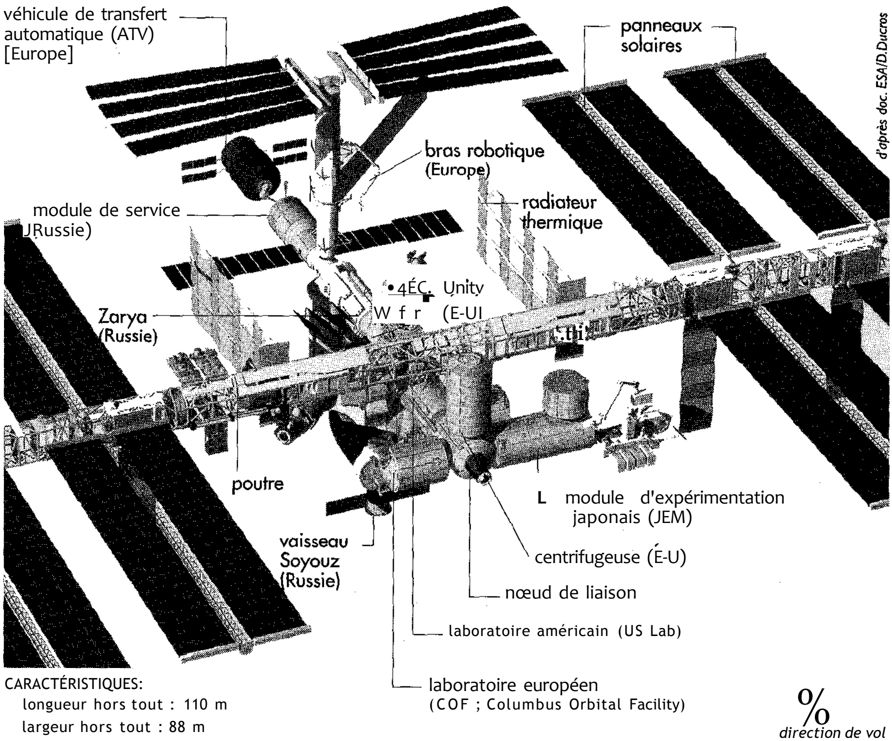
station spatiale. Installation spatiale en orbite ou déposée sur un astre, ne disposant pas de moyens de propulsion autonomes ou ne disposant que de moyens de propulsion réduits, et destinée à assurer une ou plusieurs missions déterminées avec une certaine permanence.

Station spatiale internationale. Station spatiale issue d'un projet des États-Unis, en cours d'assemblage autour de la Terre depuis 1998 et qui est exploitée dans le cadre d'une coopération internationale.
ENCYCL. AU début des années soixante, la NASA amorce les premières réflexions sur un projet de station spatiale qui serait située en orbite terrestre et occupée, en permanence, par dix ou vingt astronautes. Les utilisations envisagées sont multiples : laboratoire, observatoire, installation de montage, unité de dépôt, station-service, nœud de transport, base relais, etc. La décision de l'entreprendre, dans un cadre international, est prise officiellement en janvier 1984, par le président R. Reagan, lors de son discours annuel sur l'« état de l'Union ». En septembre 1988, un accord de coopération est signé avec l'Europe (ESA), le Japon et le Canada pour la réalisation et l'exploitation de cette future station dénommée *Freedom* (mot anglais signifiant *liberté).* Aux termes d'un nouvel accord signé en 1998 à Washington, 16 nations participent à la Station : outre les États-Unis, la Russie, 11 États de l'Agence spatiale européenne, le Canada, le Japon et le Brésil.

Depuis 1988, la configuration d'ensemble de la Station spatiale internationale a été plusieurs fois redéfinie : lorsque le gouvernement de la Russie a accepté l'invitation que lui ont adressée les partenaires de la Station spatiale internationale en décembre 1993, il en a résulté une nouvelle modification conceptuelle de la Station. Sa configuration est désormais une combinaison de l'ancienne Station spatiale internationale *Freedom* et des plans russes de Mir 2 qui devait succéder à la station Mir* actuelle. L'arrivée de ce nouveau partenaire a également obligé à revoir complètement le concept logistique de la Station, l'attribution des installations et des ressources, et le concept de partage des coûts d'exploitation communs.

PRINCIPAUX ÉLÉMENTS DE LA STATION. La Station spatiale internationale (*voir* figure) comprendra les éléments orbitaux suivants :
- le module de fret fonctionnel Zarya, construit par la Russie mais financé par les États-Unis. Il s'agit d'un véhicule orbital autonome assurant les fonctions d'alimentation, régulation thermique, navigation, propulsion et télécommunications ;
- le module de servitude (SM), fourni par l'Agence spatiale russe (RKA) où, en un premier temps, pourront travailler et dormir jusqu'à trois membres d'équipage ; le SM assurera également les fonctions de propulsion et de commandes d'orientation en plus du FGB. La partie arrière du module de servitude sera équipée d'un port d'amarrage où accosteront, en principe, les véhicules russes automatiques Progress. On envisage que le véhicule automatique de transfert (ATV) européen, en configuration « fret mixte »

La **Station spatiale internationale**



CARACTÉRISTIQUES:
longueur hors tout : 110 m
largeur hors tout : 88 m
masse : 450 t

(Mixed Cargo), accoste également à ce port ;
- six modules de laboratoire pressurisés pour des recherches scientifiques : le module laboratoire américain (US Lab) fourni par la NASA ; trois modules de recherche (RM1, RM2, RM3) russes fournis par la RKA ; le module d'expérimentation japonais (JEM), fourni par l'Agence pour la science et la technologie (STA) du Japon ; et le module laboratoire européen, dénommé Élément orbital Columbus (COF), fourni par l'Agence spatiale européenne (ESA) ;
- plusieurs emplacements non pressurisés, situés sur les éléments américains, russes et japonais, pour l'installation à l'extérieur d'expériences scientifiques et technologiques ;
- le module d'habitation (Hab) fourni par la NASA, pour le logement de quatre membres d'équipage ;
- le module de soutien-vie (LSM), fourni par la RKA, qui complète les fonctions de soutien-vie du module de servitude (SM) ;
- le module d'accostage universel russe (UDM), qui servira de point d'amarrage aux modules de recherche RM1 et RM2, ainsi qu'au module de soutien-vie (LSM), au compartiment d'amarrage (DC) et aux véhicules de transport spatial russes ;
- le module d'accostage et de stockage russe (DSM) pour l'accostage des véhicules de transport spatial russes ;
- le compartiment d'accostage russe (DC) qui peut également être utilisé comme sas pour les activités extravéhiculaires (EVA) de l'équipage de la Station ;
- le sas (Airlock) américain pour les activités extravéhiculaires ;
- les noeuds de jonction (Node 1, rebaptisé *Unity,* et Node 2), adaptateurs nécessaires au

raccordement des divers modules pressurisés ;

- les ports d'accostage de la Navette spatiale américaine, situés sur le point de branchement de servitudes N° 2 (Node 2) et sous le module d'habitation (Hab) américain ;
- un véhicule de sauvetage des équipages (CRV) raccordé à la Station de manière permanente, en mode « vie ralentie » : ce véhicule de rentrée habité tiendra lieu de « canot de sauvetage » et garantira le retour à terre de l'équipage en toute sécurité en cas d'urgence. Temporairement, la fonction de CRV sera assurée par un véhicule russe Soyouz TM;
- trois systèmes télémanipulateurs extérieurs : le système télémanipulateur de la Station spatiale (SSRMS) fourni par le Canada ; le bras télémanipulateur européen (ERA) qui sera installé sur une petite plateforme mobile située elle-même sur la plateforme russe scientifique et d'énergie (SPP) ; et le bras télémanipulateur japonais (JEM-RMS) installé sur le module d'expérimentation japonais (JEM) ;
- deux grandes structures servant d'ossature : l'une fournie par la NASA et dénommée « Truss » (poutre), l'autre par la Russie et dénommée « Plate-forme scientifique et d'énergie » (SPP). Ces deux structures accueilleront les divers éléments de la Station ;
- les panneaux de photopiles (Solar Array), les radiateurs thermiques (Radiator), les systèmes de commande d'orientation, les équipements de télécommunications et les systèmes associés de distribution de la puissance et des télécommunications.

ASSEMBLAGE. Après le lancement du module russe Zarya, le 20 novembre 1998, par une fusée Proton, et du premier nœud de jonction américain, Unity, le 3 décembre, par l'orbiteur Endeavour de la navette spatiale, l'assemblage de la station a commencé avec la jonction en orbite de ces deux éléments, le 7 décembre. En 1999, il se poursuit avec un vol logistique en mai-juin ; l'adjonction, en septembre, du module de service russe, premier quartier d'habitation et cœur de la station ; et l'installation, en octobre, par la navette spatiale, d'une structure porteuse pour un futur panneau solaire, d'un système de communication et du port d'amarrage pour la navette. Au total, quelque 45 vols spatiaux (navette américaine et lanceurs russes) sont prévus pour l'assemblage, qui doit s'achever en 2004. Dès l'an 2000, la station commencera à être habitée. Dans sa configuration complète, elle aura une masse de 415 t. ; elle sera longue de 108 m et large de 74 m. Gravitant à des altitudes comprises entre 335 et 460 km, sur une orbite inclinée de 51,6° sur l'équateur, elle offrira un volume habitable de 1 200 m³. Son coût est estimé (hors exploitation) à près de 25 milliards de dollars.

EXPLOITATION. La Station spatiale internationale sera un institut scientifique complet. Elle servira de base à des travaux de recherche scientifique et technologique ainsi qu'à l'observation de la Terre et d'autres corps célestes. Ce sera également le tremplin technique et opérationnel de futures missions d'exploration et d'exploitation de l'espace par l'homme.

stationnaire adj. Se dit d'une planète en station. *Théorie de l'état stationnaire :* **état**

statoréacteur n.m. Moteur à réaction aérobie dont la poussée résulte de la combustion de carburant dans de l'air comprimé sous le seul effet de la vitesse.

ENCYCL. Le statoréacteur a été inventé en 1907 par le Français R. Lorin, puis perfectionné et mis en application à partir de 1936 par R. Leduc. C'est le plus simple des moteurs à réaction ; il ne comporte aucun organe mobile. Il comporte une entrée d'air par laquelle l'air pénètre directement pour être comprimé par la vitesse même de l'avion (ou du missile) qui l'utilise. Au centre du moteur se trouvent disposées plusieurs couronnes d'injecteurs alimentés en carburant ; la combustion de ce dernier dans l'air comprimé émet des gaz, éjectés à vitesse accrue dans l'atmosphère par une tuyère, qui assure ainsi, par réaction, la propulsion de l'avion.

Léger dans sa construction, le statoréacteur possède un rendement élevé aux très hautes vitesses supersoniques ; il est également capable de délivrer des poussées incomparablement plus élevées que celles des plus puissants turboréacteurs actuels ; à faible vitesse, sa consommation est toutefois très importante.

Son principal inconvénient réside dans son incapacité à développer une poussée au point fixe. Son fonctionnement n'est concevable que si le véhicule porteur possède déjà une certaine vitesse.

C'est pourquoi l'utilisation du statoréacteur intervient après une première phase propulsée, réalisée le plus souvent avec un turboréacteur ou un moteur-fusée. On peut alors atteindre des vitesses de Mach 3 à Mach 6 ou 7. Dans les statoréacteurs classiques, la vitesse moyenne de l'air dans la chambre de combustion est subsonique.

Les recherches actuelles visent à mettre au point des statoréacteurs dans lesquels la vitesse est supersonique. -* **superstatoréacteur**

Statsionar. Programme de satellites géostationnaires de télécommunications russes englobant trois séries complémentaires : Radouga, Gorizont et Ekran.

Stella. Petit satellite français de télémétrie laser destiné à cartographier le champ de gravité terrestre depuis une orbite polaire.
ENCYCL. En association avec Starlette (dont il est la réplique exacte), ainsi que Lageos 1 et Lageos 2, le satellite Stella doit permettre de mesurer les variations temporelles du champ de gravité et d'en déduire les paramètres géophysiques de la Terre, par exemple la viscosité du manteau. Son lancement a eu lieu le 26 septembre 1993, en même temps que SPOT 3. Sa durée de vie théorique est d'environ 2 000 ans.

Stentor (sigle de Satellite de Télécommunications pour Expériences de Nouvelles Technologies en ORbite). Projet de satellite expérimental français destiné à tester des techniques avancées de télécommunications. Il a été décidé le 4 octobre 1994 par le gouvernement ; son lancement est prévu en 2000.

STEP (sigle de l'angl. *Satellite Test of the Equivalence Principle,* satellite test du principe d'équivalence). Projet de satellite de vérification du principe d'équivalence entre la masse inertielle et la masse gravitationnelle des corps, proposé à l'Agence spatiale européenne comme deuxième, puis comme troisième mission de taille moyenne du programme scientifique Horizon* 2000.
ENCYCL. Cette mission de physique fondamentale a pour objectif essentiel de vérifier la validité du Principe d'équivalence à quelque 10^{-17} près. La charge utile se composerait de neuf accéléromètres fixés dans un bloc de quartz, lui-même installé à bord d'une enceinte Dewar refroidie à très basse température par 200 1 d'hélium superfluide.

stockable adj. Se dit d'un ergol présentant une certaine stabilité chimique.

stratosphère n.f. Zone de l'atmosphère terrestre qui surmonte la troposphère jusqu'à une altitude d'environ 50 km et dans laquelle la température augmente avec l'altitude.
ENCYCL. Parmi les composants minoritaires de l'atmosphère terrestre, l'ozone, présent dans la troposphère et la stratosphère, est au cœur des préoccupations liées à l'évolution de l'environnement. En 1985, l'annonce de la découverte d'un amenuisement sensible, au-dessus de l'Antarctique, au cours du printemps austral, de la mince couche d'ozone stratosphérique (« trou d'ozone ») a relancé le débat sur les risques biologiques liés à la destruction de cette couche, qui protège les êtres vivants des rayonnements ultraviolets nocifs.

Les processus en jeu, étudiés par des stations au sol, des ballons stratosphériques, des satellites (Nimbus 7, UARS*, etc.) et des modélisations théoriques, ne sont pas encore totalement compris. Néanmoins, il est clair que le trou d'ozone polaire, plus ou moins marqué selon les années, est lié à la présence d'atomes de chlore dans l'air polaire. Les différences observées dans l'Arctique et l'Antarctique sont liées aux différences de circulation météorologique régnant dans ces régions. Les molécules des chiorofluorocarbures (CFC) provenant des activités humaines montent lentement jusqu'à la stratosphère polaire où elles libèrent, par photodissociation, des atomes de chlore destructeurs des molécules d'ozone lors de cycles catalytiques ; les CFC sont donc susceptibles d'être à l'origine du trou d'ozone ou de le favoriser, ce qui explique les mesu-

res de réglementation prises à l'échelle internationale depuis 1987 (protocole de Montréal) pour réduire leur consommation.

Strômgren (Bengt), astronome suédois (Gôteborg 1908 - Copenhague, 1987). Il a déterminé l'abondance relative de l'hydrogène et de l'hélium dans le Soleil (1940), puis étudié, par la spectrographie, la composition chimique des atmosphères stellaires.
Il a montré que, lorsqu'une étoile chaude, de type spectral O ou B, est entourée de gaz, cette enveloppe, ionisée par l'intense rayonnement ultraviolet de l'étoile, se trouve confinée dans une région sphérique (appelée *sphère de Strômgren).*

Stromlo (observatoire du mont). Observatoire d'Australie, sur le mont Stromlo, près de Canberra, en Nouvelle-Galles du Sud.
ENCYCL. Fondé en 1924, comme observatoire solaire du Commonwealth, il est devenu, après la Seconde Guerre mondiale, l'observatoire d'astrophysique de l'université nationale australienne. Il abrite des télescopes de 1,9 m, 1,3 m, 0,76 m et 0,66 m. Le développement de la ville de Canberra a conduit à la construction d'un nouvel observatoire, en un site plus favorable aux observations optiques, celui de Siding* Spring. Les deux établissements sont administrés ensemble, sous le nom de *observatoires du mont Stromlo et de Siding Spring.*

Struve ou **Strouve,** famille d'astronomes russes d'origine allemande.
Friedrich Georg Wilhelm von Struve (Altona, Holstein, 1793 - Saint-Pétersbourg 1864), astronome à l'observatoire de Dorpat (1813), en devint directeur en 1817. En 1824, il l'équipa d'une lunette de 24 cm d'ouverture (montée par Fraunhofer*) qui fut le premier instrument astronomique à être doté d'une monture équatoriale* mue par un mouvement d'horlogerie. À l'aide de cette lunette, il se consacra à la recherche des étoiles doubles et à leur mesure précise. Il examina ainsi quelque 120 000 étoiles, et mesura plus de 3 000 étoiles doubles ou multiples, dont les trois quarts étaient auparavant inconnues. À partir de 1835, il supervisa la construction de l'observatoire de Poulkovo, près de Saint-Pétersbourg, dont il fut le premier directeur (1839-1862). Il fut aussi l'un des premiers astronomes à déterminer des parallaxes stellaires.
Son fils Otto (Dorpat 1819 - Karlsruhe 1905) lui succéda à la tête de l'observatoire de Poulkovo de 1862 à 1890. On lui doit aussi la découverte d'un grand nombre d'étoiles doubles.
Le petit-fils de ce dernier, Otto (Kharkov 1897 - Berkeley 1963), naturalisé américain en 1927, s'est illustré par des travaux de spectroscopie et d'astrophysique stellaire et fut président de l'Union astronomique internationale de 1952 à 1955.

STS (sigle de l'angl. *Space Transportation System,* système de transport spatial). Appellation officielle de la navette spatiale américaine, dont chaque vol est identifié au moyen de ces initiales et d'un numéro de référence. Toutefois, en raison des modifications dans la planification des missions, on n'observe pas toujours la correspondance entre cette référence et le rang du lancement : c'est ainsi que STS-28 fut la 30e mission, STS-34 la 31e, STS-36 la 34e, STS-52 la 51e, etc.

Subaru (mot japonais signifiant *les Pléiades).* Nom d'un grand télescope japonais implanté sur le Mauna Kea, à Hawaii, à 4 140 m d'altitude. Son miroir primaire est un ménisque mince, en silice, de 8,3 m de diamètre et il utilise la technique de l'optique* active ; sa première lumière a eu lieu en 1999.

submillimétrique adj. **1.** Se dit du rayonnement électromagnétique dont la longueur d'onde est comprise entre 0,1 et 1 mm. **2.** Qualifie la branche de l'astronomie qui étudie les sources célestes de ce rayonnement. L'astronomie submillimétrique vient compléter la couverture spectrale du ciel à la frontière de l'astronomie infrarouge et de la radioastronomie. **European Southern Observatory, FIRST, Mauna**

suborbital,e adj. Qualifie le mouvement d'un engin spatial qui n'a pas atteint la vitesse de satellisation, SYN : *sous-orbital.*

subsolaire adj. Se dit du point de la surface d'un corps du système solaire d'où un observateur verrait le Soleil au zénith.

Suisei (mot japonais signifiant *comète).* Sonde japonaise d'exploration de la comète de Halley.
ENCYCL. Lancée le 18 août 1985, elle était munie d'une caméra sensible dans l'ultraviolet pour étudier le halo d'hydrogène entourant la comète et de deux analyseurs de plasma pour étudier l'interaction entre le vent solaire et la comète. Elle est passée à 150 000 km environ du noyau de la comète le 8 mars 1986.

Superamas local. Superamas dont fait partie notre Galaxie. C'est un vaste système légèrement aplati, centré sur l'amas de la Vierge et contenant une cinquantaine de groupes de galaxies. Son diamètre est de 40 millions de parsecs.

superamas n.m. Amas d'amas de galaxies.
ENCYCL. Les superamas sont des structures fondamentales de l'Univers à très grande échelle. On les désigne par le nom des principaux amas de galaxies qui les constituent ; ce nom étant, pour les structures les plus proches, celui de la constellation (ou des constellations) dans la direction de laquelle (ou desquelles) on observe l'amas (ou les amas) depuis la Terre : la Chevelure de Bérénice *(Coma),* Hercule *(Hercules),* Poissons-Persée *(Pisces-Perseus),* Hydre-Centaure *(Hydra-Centaurus),* etc. En moyenne, un superamas rassemble une dizaine d'amas dans un volume dont le diamètre est de l'ordre de 100 millions d'années de lumière.

Supergalaxie ni. Synonyme de Superamas local.

supergéante n.f. Type d'étoile extrêmement lumineuse, de grand rayon et de très faible densité.
-*• **diagramme de Hertzsprung-Russell**

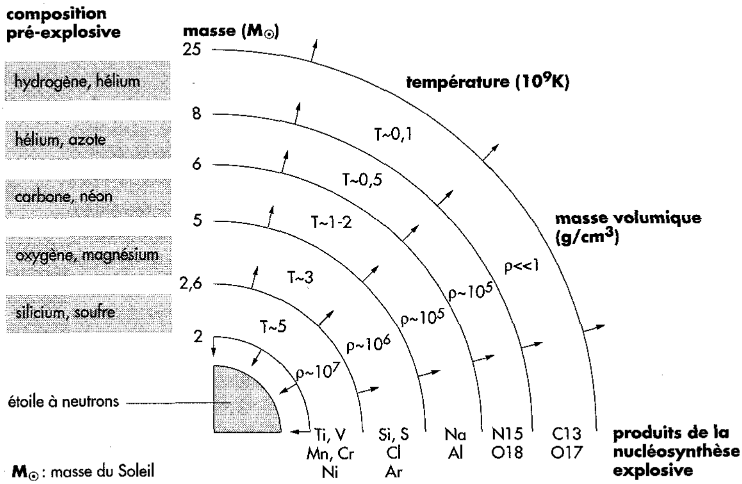
supergranulation n.f. Réseau que forment les supergranules au niveau de la photosphère solaire.

supergranule n.f. Formation caractéristique de la surface solaire, engendrée par des mouvements de gaz dans les régions calmes de la photosphère.
ENCYCL. Les supergranules sont dessinées par des mouvements divergents, en étoile, des gaz photosphériques solaires : la matière s'élève au centre et redescend à la limite de la supergranule.
La composante verticale de la vitesse observée est faible, de 100 à 200 m/s ; la composante horizontale peut atteindre 300 à 400 m/s. La dimension de ces cellules est de l'ordre de 30 000 km, leur durée de vie, de l'ordre d'un jour.

superluminique ou **supraluminique** adj. Se dit d'une vitesse qui paraît supérieure à celle de la lumière.
ENCYCL. D'après la théorie de la relativité* restreinte, aucun corps ne peut atteindre, ni *a fortiori* dépasser, la vitesse de la lumière. Pourtant, certaines radiosources (quasars*, radiogalaxies*) présentent une structure double et les observations révèlent que leurs composantes s'écartent l'une de l'autre à des vitesses qui, en apparence, peuvent atteindre jusqu'à 10 fois celle de la lumière. Selon l'explication la plus généralement admise, il s'agit d'un effet purement géométrique, résultant de ce que les deux sources de rayonnement ont été éjectées par un même objet, à une vitesse proche de celle de la lumière, dans une direction très voisine de la ligne de visée ; le rayonnement reçu des deux sources a donc été émis à des époques différentes : les deux sources sont, en fait, à des distances différentes et leur rayonnement ne met pas le même temps à parvenir sur la Terre.

supernova n.f. (pluriel *supernovae).* Étoile massive ayant atteint un stade avancé de son évolution, qui explose et se manifeste temporairement par un éclat considérablement plus élevé.
ENCYCL. Une bonne dizaine de supernovae ont été observées avant l'époque moderne. La plus ancienne supernova mentionnée, dans les chroniques chinoises, remonte à l'an 185. L'explosion d'une supernova est un phénomène relativement rare ; en effet, on observe seulement, en moyenne, trois su-

Structure er pelures d'oignon d'une **supernova** de type II



pernovae par siècle dans une galaxie. Dans notre Galaxie, quatre supernovae ont été particulièrement observées au cours de ce millénaire. La plus ancienne a été vue en l'an 1006 dans la constellation du Loup. Ce fut la plus brillante, avec un éclat comparable « au quart de la pleine lune ». La suivante a été aperçue en 1054 dans la constellation du Taureau et a donné comme résultat la nébuleuse du Crabe*, avec un pulsar* au centre. La troisième est l'étoile nouvelle signalée par Tycho Brahe* en 1572 dans la constellation de Cassiopée. Enfin, la supernova de 1604 dans la constellation d'Ophiucus a été décrite à la fois par Kepler* et par Galilée*.
Les supernovae s'observent beaucoup plus communément dans les galaxies extérieures, parce que celles-ci sont très nombreuses.

La première supernova extragalactique a été observée en 1885 dans la galaxie M31 d'Andromède. Depuis, on en a découvert plus de 400 ; la plus brillante, SN 1987A, qui a atteint la magnitude 3, a été observée en 1987 dans le Grand Nuage de Magellan*. À son maximum d'éclat, une supernova peut devenir aussi lumineuse que la galaxie qui l'abrite, sa luminosité est alors de l'ordre de 10 milliards de fois celle du Soleil. L'énergie libérée au cours du phénomène est énorme, de l'ordre de 10^{45} J, et les observations spectroscopiques indiquent que de la matière est éjectée avec des vitesses de l'ordre de plusieurs milliers de kilomètres par seconde.
Le phénomène de supernova est un cataclysme très violent. La plus grande partie de la masse de l'étoile est éjectée au cours de l'explosion et constitue ce que l'on appelle un reste de supemova ; celui-ci est observé sous la forme d'une nébuleuse* en expansion, également source de rayonnements radio et X produits par émission synchrotron*. La fraction de masse non éjectée (cœur de l'étoile) constitue un résidu très compact, sous la forme d'une étoile à neutrons*, décelable en tant que pulsar*, ou d'un trou* noir.
CLASSIFICATION. On distingue deux types principaux de supernovae. Celles du type I sont les plus brillantes, et leur éclat décroît plus lentement que celui des supernovae du type II, dont le spectre se distingue par la présence de raies de l'hydrogène. Selon les conceptions actuelles, une supernova de type I résulte de l'évolution d'un système binaire dont l'une des composantes est une naine* blanche. Celle-ci arrache progressivement, par attraction gravitationnelle, de la matière à sa compagne et finit ainsi par exploser.

Les supernovae de type II sont des étoiles massives (d'une masse au moins égale à 10 fois celle du Soleil) qui explosent après

épuisement de leur combustible nucléaire : leur noyau, principalement constitué de fer, implose brutalement lorsque les réactions thermonucléaires s'y arrêtent, alors qu'elles se poursuivent entre les couches périphériques de l'étoile, dont la structure est alors « en pelures d'oignon » (*voir* figure).
L'explosion d'une supernova contribue à enrichir le milieu interstellaire en éléments chimiques plus lourds que l'hydrogène et l'hélium.
LA SUPERNOVA SN 1987A. L'observation de la supernova du Grand Nuage de Magellan, découverte dans la nuit du 23 au 24 février 1987, a permis de confirmer le mécanisme d'explosion des supernovae de type II, suivant lequel l'effondrement des régions centrales d'une étoile massive conduit à la formation d'un étoile à neutrons (ou d'un trou noir), suivie d'un choc qui expulse l'enveloppe de l'étoile à des vitesses de plusieurs dizaines de milliers de kilomètres par seconde. La relative proximité de l'événement a permis, pour la première fois, la détection de quelques-uns des neutrinos émis massivement au cours de l'effondrement. L'étoile qui a explosé, baptisée Sk-69202, était une étoile de masse comprise entre 15 et 20 fois celle du Soleil pour un rayon d'une quarantaine de rayons solaires, et membre d'un système triple. Stable au moins depuis un siècle, sa luminosité était 100 000 fois supérieure à celle du Soleil. Toutefois, il s'agissait d'une étoile bleue et non d'une supergéante rouge. Son explosion a définitivement fait admettre l'existence d'un sous-type particulier de supernovae, les II b, dont l'émission lumineuse ressemble, en plus faible, à celle des supernovae de type I, mais qui sont le résultat d'un effondrement gravitationnel. La particularité de ces étoiles tient au fait qu'elles ont été dépouillées, bien avant leur explosion, d'une partie de leur enveloppe d'hydrogène.

Les débris éjectés lors de l'explosion de SN 1987A forment aujourd'hui un nuage de gaz et de poussières en expansion rapide qui rayonne dans les domaines X, optique, radio et infrarouge. Ce nuage illumine des anneaux de matière qui ont sans doute été expulsés par l'étoile lors d'instabilités antérieures. Malgré d'activés recherches, on n'avait pu encore, à la fin de 1995, détecter la présence (attendue) d'un pulsar à l'emplacement de l'étoile qui a explosé, ce qui intrigue les spécialistes.

superstatoréacteur n.m. Type de statoréacteur pour lequel la vitesse moyenne de l'air dans la chambre de combustion est supersonique.
ENCYCL. Ce propulseur aérobie n'a encore fait l'objet d'aucun développement ailleurs qu'en laboratoire. Mais on estime qu'il permettrait d'atteindre des vitesses de l'ordre de Mach 10 à Mach 15 (3 000 à 4 500 m/s) et on le considère comme particulièrement adapté à la propulsion de futurs avions de transport hypersoniques ou de lanceurs spatiaux entièrement réutilisables, mono- ou biétages.

sursaut n.m. Émission soudaine et temporaire d'un rayonnement électromagnétique intense par un objet céleste.
ENCYCL. Le Soleil est le siège de sursauts radioélectriques. Ces sursauts sont principalement considérés comme la réponse de la couronne à l'apparition d'une éruption chromosphérique.
SURSAUTS γ. Des bouffées de rayonnement γ, intenses et brèves, ont été observées dans l'espace dès la fin des années 60, par des satellites militaires américains conçus pour la détection d'explosions nucléaires. Sitôt les enregistrements publiés, en 1973, les astrophysiciens se sont efforcés d'identifier l'origine de ces sursauts, tâche d'autant plus délicate qu'il n'a jamais été possible de leur associer une source de rayonnement visible, radio ou X. Vers 1990, on imputait ces sursauts à de violents séismes ou à des explosions nucléaires affectant des étoiles à neutrons* de notre galaxie. Si tel était le cas, on devait constater toutefois une répartition spatiale des sursauts analogue à celle des étoiles dans le plan de la Voie lactée. Or, les observations effectuées par le satellite Compton*, qui portent sur des centaines de sursauts γ, montrent que ceux-ci sont répartis à peu près uniformément dans le ciel. Cela implique que leur origine est soit très proche, intérieure au système solaire, soit très lointaine, extérieure à la Galaxie.
Certains théoriciens ont imaginé que les sursauts proviennent d'étoiles à neutrons qui

seraient dispersées en un gigantesque halo concentrique autour de la Voie lactée ; mais cette hypothèse ne tient qu'au prix d'hypothèses *ad hoc* sur la taille et sur la forme du halo et elle n'explique pas pourquoi les étoiles à neutrons du disque galactique produisent si peu de sursauts. Une majorité de spécialistes penche aujourd'hui pour une origine cosmologique des sursauts y et suppose que les objets qui les émettent sont répartis dans tout l'Univers. En outre, l'extrême variabilité de l'intensité observée pour un même sursaut implique que le diamètre des sources n'excède pas quelques centaines de kilomètres : pour certains, un cataclysme tel que la collision de deux étoiles à neutrons permettrait de rendre compte des données de l'observation.

sursauts (étoile à). Type d'étoile variable, dont l'éclat peut s'accroître d'une magnitude ou plus pendant quelques minutes, de façon imprévisible, SYN. : *étoile à flares*
ENCYCL. Il s'agit de naines rouges de type spectral M. Leur spectre présente des raies d'émission et l'on présume que leur chromosphère est le siège de phénomènes comparables aux éruptions* solaires, mais beaucoup plus énergétiques. Ces étoiles sont connues aussi sous le nom de *étoiles UV Ceti* (du nom de la première étoile de ce type qui a été identifiée). L'étoile la plus proche du système solaire, Proxima*, en est un spécimen.

surveillance (par satellite) n.f. Mission de renseignement militaire accomplie par un satellite.
ENCYCL. La surveillance comprend l'obtention d'informations de fond sur le potentiel de défense des armées étrangères (renseignement de documentation), le suivi au jour le jour des événements intéressant la défense et les armées (renseignement de situation) et la surveillance d'activités ainsi que le contrôle de potentiels militaires étrangers dans le cadre de la maîtrise des armements. Le recours au satellite permet l'accomplissement de ces missions de façon permanente et discrète sur l'ensemble de la Terre. La surveillance par satellite met en œuvre des satellites de reconnaissance* photographique, d'observation radar*, d'écoute* électronique et d'alerte* avancée.

Surveyor. Nom donné aux sondes automatiques américaines, lancées entre 1966 et 1968, qui avaient pour mission d'atterrir en douceur sur la Lune, d'en photographier et d'en étudier le sol, en prélude aux vols habités du programme Apollo*.
ENCYCL. Ces sondes avaient une masse de 11 sur le trajet Terre-Lune. Une rétrofusée à propergol solide les freinait à proximité de la Lune. Après leur atterrissage, elles pesaient 283,5 kg pour une largeur de 4,2 m (pieds déployés) et une hauteur de 3 m. Leur équipement comportait principalement une caméra panoramique, une petite pelle mécanique permettant de prélever des échantillons de sol lunaire et un appareil (diffusomètre alpha) pour l'analyse de sa composition chimique. Sept sondes ont été lancées. Surveyor 1, lancée le 30 mai 1966, atterrit le 2 juin dans l'océan des Tempêtes, quatre mois seulement après le premier atterrissage en douceur sur la Lune, réussi par la sonde soviétique Luna 9.
Le programme n'a connu que deux échecs : Surveyor 2, en septembre 1966, et Surveyor 4, en juillet 1967, qui s'écrasèrent sur la Lune. Les cinq missions réussies ont permis d'obtenir plus de 85 000 images du sol lunaire et de nombreuses données sur ses propriétés physico-chimiques. Des éléments de Surveyor 3 ont été récupérés par les astronautes de la mission Apollo 12, en novembre 1969, et rapportés sur la Terre afin qu'on étudie leur dégradation après *un* séjour prolongé sur la Lune.

survol n.m. Passage d'un engin spatial à proximité d'un astre à étudier, sans mise en orbite autour de l'astre considéré ni impact sur celui-ci.

Svobodny. Ville de l'Extrême-Orient russe, sur le trajet du transsibérien, non loin de la frontière avec la Chine.
ENCYCL. À proximité se trouve une base militaire, Svobodny 18, qui était, jusqu'à la signature des accords Start 2 (1991) de réduction des armements stratégiques, une base de missiles pointés sur des objectifs améri-

cains dans le Pacifique et sur des cibles situées sur le territoire chinois.
La Russie y a installé un nouveau cosmodrome (qui a une latitude de 51,4° N.) pour remplacer, à long terme, celui de Baïkonour*, qu'elle doit désormais louer au Kazakhstan. Inauguré le 4 mars 1997 avec le lancement du satellite Zeia à l'aide d'une fusée Start 1, il devrait également servir au lanceur léger Rockot* et au lanceur lourd Angara*.

Swift Tuttle (comète). Comète périodique découverte le 16 juillet 1862 par l'Américain Lewis Swift et, indépendamment, trois jours plus tard, par l'Américain Horace Tuttle.
ENCYCL. Elle devint aisément visible à l'œil nu, atteignant la magnitude 2 dans les premiers jours de septembre 1862, puis son éclat déclina rapidement et elle fut observée pour la dernière fois le 31 octobre. En 1866, G. Schiaparelli* montra que l'essaim de météorites des Perséides* lui est associé.
Cette comète décrit son orbite en 131 ans et, lors de son dernier retour au périhélie, en 1992, l'astronome américain Brian Marsden a évoqué la possibilité qu'elle heurte la Terre le 14 août 2126. Des calculs plus précis de sa trajectoire ont permis, depuis, d'écarter cette éventualité. Désignation officielle : 1862 III.

Sycorax. Nom proposé pour le satellite d'Uranus découvert en 1997 par une équipe d'astronomes dirigée par l'Américain P. Nicholson. Demi-grand axe de son orbite : 12 213 600 km. Période de révolution sidérale : 1 289 j. Diamètre : ~ 120 km.

symbiotique (étoile). Étoile présentant un spectre inhabituel dans lequel on observe à la fois la signature d'une étoile froide et des raies d'émission caractéristiques d'un gaz à très haute température.
ENCYCL. On pense que de telles étoiles sont, en fait, des systèmes binaires associant à une grosse étoile froide une naine blanche qui capture par accrétion* la matière de sa compagne. L'irrégularité du transfert de masse et l'éclipsé périodique de la matière chaude par la grosse étoile froide expliquent les variations d'éclat de ces étoiles, dont le prototype est l'étoile Z *Andromedae.*

Symphonie. Programme expérimental de télécommunications spatiales franco-allemand, décidé en 1967 et achevé en 1984.
ENCYCL. Deux satellites ont été lancés par les États-Unis : Symphonie 1, le 19 décembre 1974, Symphonie 2, le 27 août 1975. Chacun pouvait relayer simultanément jusqu'à 750 communications téléphoniques, 2 canaux de télévision, 48 canaux de radiodiffusion, ou une combinaison de ces services. Pour la première fois au monde, un satellite civil de télécommunications était stabilisé selon les trois axes.

synchrone adj. Se dit de la rotation d'un satellite lorsque celui-ci a une période de rotation et de révolution identiques, présentant de ce fait toujours la même face à sa planète. La Lune offre un exemple de rotation synchrone.

synchrotron (rayonnement). Rayonnement électromagnétique émis par des électrons en' mouvement dans un champ magnétique.
ENCYCL. Ce mécanisme est à l'origine de l'émission radioélectrique de nombreux astres : le Soleil* (lors de certains grands sursauts accompagnant les éruptions chromosphériques), les restes de supernovae*, les pulsars*, les radiogalaxies* et les quasars*.

Syncom (acronyme de *SYNchronous COMmunkations,* communications synchrones). 1. Série des trois premiers satellites géosynchrones de télécommunications lancés par les États-Unis en 1963 et 1964.
ENCYCL. Syncom 3, lancé le 19 août 1964, fut le premier satellite véritablement géostationnaire ; il servit pour la retransmission des images des jeux Olympiques de Tokyo, puis pour des liaisons militaires avec le Viêtnam ; sa réussite prépara la venue du programme Intelsat.
2. Série de satellites américains de télécommunications militaires, plus récents, Syncom IV (alias Leasat), dont cinq exemplaires ont été lancés par la navette entre 1984 et 1990. Syncom TV-3, défaillant, fut réparé en orbite en septembre 1985.

synodique adj. Relatif à tout mouvement en longitude ayant comme origine la ligne joignant le centre du Soleil au centre de la Terre. *(Période de) révolution synodique :* intervalle de temps qui s'écoule entre deux passages successifs d'une planète ou d'un satellite dans une situation déterminée par rapport au Soleil et à la Terre (conjonction, opposition, etc.).

ENCYCL. La période de révolution synodique (d'une planète se calcule en composant sa période de révolution sidérale* T avec celle de la Terre autour du Soleil A d'après la formule l/(= ± (1/T - 1/A) où l'on prend le signe + pour les planètes inférieures et le signe - pour les planètes supérieures. On obtient les valeurs suivantes : 115,9 j pour Mercure ; 1 an 218 j pour Vénus ; 2 ans 49 j pour Mars ; 1 an 3 j pour Jupiter ; 1 an 4,4 j pour Saturne et Uranus ; 1 an 2,2 j pour Neptune et 1 an 1,5 j pour Pluton.

synthèse d'ouverture. Technique utilisée en radioastronomie, qui permet d'obtenir le pouvoir de résolution d'un très grand radiotélescope à partir d'observations effectuées à l'aide d'un réseau d'antennes plus petites.

→ **radio-interféromètre.**

Syracuse (acronyme de SYstème de RAdiocommuniCation Utilisant un SatellitE). Système français de télécommunications militaires mis en service en 1984 qui utilise, depuis 1992, les satellites Télécom 2.

Syrtis Major Planum. Plaine volcanique cratérisée, à la surface de Mars, aisément visible de la Terre, même avec une petite lunette, sous l'aspect d'une tache triangulaire sombre. Coordonnées : 20° N. à 1° S., 283 à 298° O.

système optique. Ensemble de lentilles, de miroirs, de prismes, destiné à former une image. Les systèmes utilisés présentent souvent un axe de révolution : on parle alors de systèmes *centrés.*

système solaire. 1. Ensemble du Soleil et des astres, en particulier des planètes, qui gravitent autour de lui. **2.** Région de l'espace dans laquelle le Soleil exerce une attraction prépondérante par rapport à celle des autres étoiles.

ENCYCL. En dehors du Soleil lui-même, le système solaire comprend neuf planètes* principales, des milliers d'astéroïdes*, des comètes*, des météorites* et des poussières interplanétaires. Son exploration est effectuée par des sondes* spatiales. L'ensemble des planètes principales se concentrent dans un disque d'environ 6 milliards de kilomètres de rayon (c'est-à-dire 40 fois la distance moyenne de la Terre au Soleil), mais l'on présume qu'il existe une vaste concentration de noyaux cométaires (nuage de Oort) à des distances du Soleil comprises entre 40 000 et 100 000 fois celle de la Terre au Soleil.

L'étoile la plus proche du système solaire, Proxima du Centaure, se trouve à une distance de 4,2 années de lumière (soit plus de 40 000 milliards de kilomètres).

système spatial. Ensemble des moyens mis en œuvre, sur Terre et dans l'espace, pour accomplir une mission spatiale déterminée. Exemples : le système spatial Météosat de météorologie, le système spatial Landsat pour la télédétection des ressources terrestres, SYN : *moyen spatial*

Un système spatial se subdivise généralement en deux parties.

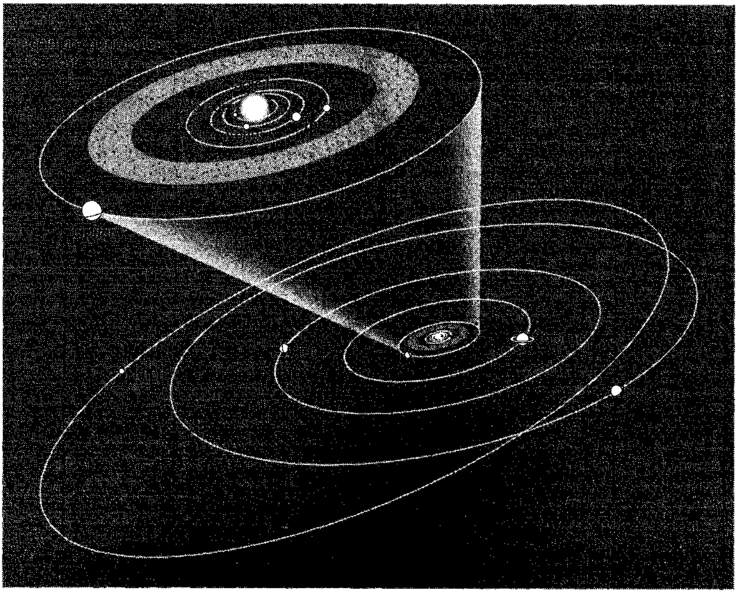
LA COMPOSANTE SPATIALE. Elle comprend un (ou plusieurs) satellite(s) sur orbite (et, dans le cas de systèmes opérationnels tenus d'offrir un service continu, un satellite de secours, également sur orbite).

LA COMPOSANTE SOL. Elle comprend :

1. la composante sol de contrôle, constituée des moyens pour assurer le dialogue avec les satellites, les localiser, surveiller leur état de fonctionnement, parfois programmer leurs séances de travail, recueillir, traiter, diffuser ou archiver leurs données, etc. Divers moyens y concourent : des centres spécialisés (de contrôle, de mission, de traitement, d'orbitographie, etc.), les antennes des stations du réseau de poursuite et celles du réseau d'exploitation, les équipements de transmission de l'information entre ces divers sites, etc. ;

2. la composante sol de mission (ou d'utilisateur), constituée de l'ensemble des équi-

Бy tème olaîre



pements des clients, tels les plates-formes émettrices du système de localisation et de collecte de données Argos, les récepteurs individuels du système de positionnement GPS ou les antennes individuelles du système de radiodiffusion Eutelsat.

systémier n.m. Firme industrielle chargée de l'intégration d'un engin spatial ou de la fourniture d'un système spatial complet.

syzygie ni. (du grec *suâzugia,* union, couple, paire). Nouvelle lune ou pleine lune.

t

X Ceti. Étoile t de la Baleine. Magnitude apparente : 3,5. Type spectral : G8. Distance : 11,9 années de lumière.
ENCYCL. En raison de sa proximité du système solaire et de ses caractéristiques peu différentes de celles du Soleil, elle a été choisie, en 1960, comme l'une des premières étoiles (avec e *Bridant*) autour desquelles il convenait de chercher à détecter une civilisation intelligente. Dans le cadre du projet Ozma, elle a ainsi été « écoutée » pendant plusieurs mois à l'aide du radiotélescope de Green Bank, en Virginie-Occidentale, sur une longueur d'onde voisine de 21 cm, avec l'espoir de capter des signaux dont l'origine non naturelle aurait pu être établie. Cette expérience s'est soldée par un échec.

T Tauri. Étoile de la constellation du Taureau, prototype d'une classe de variables irrégulières dont le spectre présente de nombreuses et intenses raies d'émission et qui sont des spécimens de très jeunes étoiles en contraction gravitationnelle.

Table (en latin *Mensa, -ae).* Petite constellation voisine du pôle céleste austral, introduite parla Caille en 1752.
ENCYCL. Elle ne renferme que des étoiles de faible éclat, dont les plus brillantes sont de magnitude 5. Le Grand Nuage de Magellan* chevauche cette constellation et celle de la Dorade.

table de lancement. Dispositif qui supporte un véhicule spatial et le maintient par sa partie inférieure jusqu'à son lancement.

tabouret tournant. Siège rotatif utilisé lors de la sélection et de l'entraînement des spationautes pour étudier leur résistance au déséquilibre.
ENCYCL. Le siège est mobile autour d'un axe vertical. Une fois le sujet installé et maintenu par des sangles, les yeux bandés, il est mis en rotation (à l'aide d'un moteur électrique réglable) à une vitesse pouvant atteindre 30 tours/minute. On commande alors au patient de déplacer la tête vers l'avant, vers l'arrière, à gauche ou à droite. Ces mouvements, combinés à la rotation du siège, perturbent le système vestibulaire du sujet et provoquent des symptômes comparables à ceux du mal* de l'espace. Lors de certaines expériences, des appareils spéciaux mesurent l'orientation visuelle du patient dans deux dimensions et son aptitude à évaluer son orientation.

tache (solaire) n.f. Structure temporaire sombre, évolutive, de diamètre variable, sur la photosphère du Soleil.
ENCYCL. Les taches solaires apparaissent isolément ou en groupes. Leur superficie peut atteindre plusieurs centaines de millions de km^2. Les plus grandes peuvent être observées à l'œil nu depuis la Terre, lorsque le Soleil est bas sur l'horizon. Quatre siècles avant notre ère, les astronomes chinois avaient déjà remarqué leur existence. Fabricius* et Galilée* furent les premiers à les étudier à la lunette, au début du xviie siècle. Toutes les taches, à l'exception des plus petites, comportent deux régions distinctes : l'ombre, très sombre, au centre, et la pénombre, plus claire, à la périphérie. Le plus souvent, cependant, elles s'observent en

groupes où deux d'entre elles prédominent. Ce sont des régions de forts champs magnétiques dont l'origine se situe dans la photosphère profonde. Leur température (4 000 à 6 000 K) est inférieure à celle des régions environnantes, ce qui les fait paraître sombres, par contraste. Elles sont à l'origine d'un très grand nombre d'éruptions* solaires. Les groupes de taches simples sont, en général, des ensembles magnétiques bipolaires et les taches principales présentent des polarités opposées, suggérant la présence de boucles de champs magnétiques qui traversent la photosphère. La tache principale, à l'ouest, est dite « tache de tête », et son homologue, à l'est, « tache de queue ». La polarité magnétique des taches de tête et de queue reste constante pendant la durée du cycle solaire de 11 ans et s'inverse au cycle suivant. Elle s'inverse également pour un cycle donné, de l'hémisphère Nord à l'hémisphère Sud du Soleil. Les taches ont une durée de vie limitée, qui peut aller de quelques heures à quelques mois, et elles évoluent au cours de leur existence. La latitude héliographique moyenne d'apparition des taches varie au cours d'un cycle de l'activité solaire (loi de Spôrer*). La fréquence d'apparition, le nombre et la surface des taches présentes simultanément sur le Soleil fournissent de bons indices de référence de l'activité solaire (nombre de Wolf*).

Taiyuan. Base de lancement chinoise, près de la ville du même nom, dans le Shanxi. Coordonnées géographiques : 37,8° N., 111,5° E.

ENCYCL. La base de Taiyuan sert au lancement de satellites destinés à être placés en orbite polaire pour des missions de reconnaissance, de télédétection ou d'observation météorologique. Elle a été utilisée pour la première fois le 6 septembre 1988 pour le lancement, à l'aide d'une fusée Longue Marche 4 (dont c'était le premier vol), du premier satellite météorologique chinois.

Tanegashima. Centre spatial japonais, au sud de l'île du même nom, au sud de Kyushu. Coordonnées géographiques : 30,4° N., 131,0° E.

ENCYCL. Exploité par la NASDA*, ce centre couvre 8,6 km², répartis entre le site d'Osaki, pour les lancements de satellites (à l'aide de lanceurs N-1, N-2 et H-1), et celui de Takesaki, plus au sud, pour les fusées-sondes. Un troisième ensemble de lancement a été construit à 1 kilomètre à l'est d'Osaki, sur le site de Yoshinobusaki, pour les lanceurs H-2. Le premier lancement réussi, à partir du site d'Osaki, a eu lieu le 9 septembre 1975. Les satellites lancés de ce site sont, pour la plupart, des satellites d'applications (télécommunications, télévision, observation de la Terre) géostationnaires.

tapis roulant. Instrument d'exercice musculaire comprenant une plate-forme mobile qui permet d'effectuer des séances de marche sur place.

ENCYCL. Lors des tests de sélection des spationautes, l'un des instruments utilisés pour apprécier l'aptitude physique des candidats est un tapis roulant que l'on incline progressivement pour simuler la montée d'une côte de plus en plus raide. À bord des stations spatiales, les spationautes doivent effectuer des séances quotidiennes de tapis roulant (l'équivalent de 5 km de marche, à bord de la station russe Mir) pour limiter les effets de l'impesanteur sur leur organisme.

Tarentule (nébuleuse de la). La plus vaste nébuleuse diffuse connue, située dans le Grand Nuage de Magellan.

ENCYCL. On l'appelle aussi *30 Doradus.* Sa partie la mieux visible a un diamètre de 600 à 700 années de lumière mais la photographie révèle qu'elle s'étend en un réseau de filaments ténus sur 6 000 années de lumière de diamètre. Sa masse représente environ 500 000 fois celle du Soleil. Ce vaste nuage d'hydrogène ionisé, situé dans une région riche en jeunes étoiles très chaudes, brille suivant un processus analogue à celui qui explique le rayonnement de la nébuleuse d'Orion*. Au cœur de cette nébuleuse, on a découvert un amas d'étoiles formant un noyau très brillant de 80 années de lumière de diamètre (désigné sous le matricule R 136).

Tau. Abréviation de *Taurus,* désignant la constellation du Taureau.

Taureau (en latin *Taurus, -î*). Constellation zodiacale, entre le Bélier et les Gémeaux.
ENCYCL. Son étoile la plus brillante est Aldébaran*. Elle abrite deux amas stellaires ouverts perceptibles à l'œil nu, les Hyades* et les Pléiades*, ainsi que la nébuleuse du Crabe*. L'étoile *T Tauri** est un spécimen d'étoile très jeune. Autour de l'étoile *HL Tauri*, incluse dans le même nuage moléculaire, au nord des Hyades, on a détecté, grâce à ses émissions de rayonnements infrarouge et radio, un disque de matière solide et gazeuse de 1 000 unités astronomiques de rayon et d'une masse évaluée au dixième de celle du Soleil, qui pourrait être un système planétaire en formation.

Taurides. Essaim de météorites, et météores associés observables autour du 10 novembre, dont le radiant se trouve dans la constellation du Taureau. Cet essaim provient de la comète d'Encke.

Taurus (-i). Nom latin de la constellation du Taureau (abrév. *Tau).*

Taurus. Petit lanceur américain quadriétage à poudre pesant 68 t au décollage.
ENCYCL. Il peut satelliser 1 t en orbite basse et 400 kg en orbite de transfert géostationnaire. Son premier lancement réussi a été effectué le 13 mars 1994.

tavelures (interférométrie des). Technique d'interférométrie optique qui permet de réduire la dégradation - due à la turbulence atmosphérique - des images fournies par un télescope.
ENCYCL. Cette technique a été inventée en 1970 par le Français Antoine Labeyrie. Lorsqu'on observe une étoile au télescope, l'onde lumineuse provenant de l'étoile est déformée par la turbulence de l'air. Si le diamètre du miroir du télescope est inférieur ou égal à la taille moyenne des « bosses » de l'onde déformée, on observe une tache lumineuse dont la position évolue très rapidement en raison des variations locales d'inclinaison de l'onde. Si le diamètre du miroir du télescope est grand par rapport au « bosses », l'image se compose d'une multitude de « grains », appelés *tavelures (speckles* en anglais), animés de mouvements désordonnés. En traitant par ordinateur un grand nombre d'images instantanées prises à l'aide d'une caméra à comptage de photons, on parvient à obtenir un modèle statistique du déplacement des tavelures. Il est ainsi possible d'apprécier la déformation subie par l'onde lors de l'observation, et de reconstituer l'image telle qu'elle serait reçue en l'absence de turbulence, donc d'atteindre la limite de résolution théorique du télescope. Par ce procédé, on est parvenu à mesurer différents diamètres stellaires et à observer des détails à la surface de certaines étoiles.

Taylor (Joseph), astrophysicien américain (Philadelphie, Pennsylvanie, 1941).
Avec son élève R. Hulse, il découvrit en 1974 le premier pulsar formant un système binaire avec un autre pulsar. Grâce à cette découverte, l'existence des ondes* gravitationnelles a pu être établie d'une manière indirecte, ce qui lui a valu, ainsi qu'à R. Hulse, le prix Nobel de physique en 1993.

Tcherenkov (effet). Émission de rayonnement électromagnétique par des particules chargées se déplaçant dans un milieu à une vitesse supérieure à celle qu'aurait la lumière dans ce milieu.
ENCYCL. Cet effet porte le nom du physicien soviétique Pavel Tcherenkov, qui l'a découvert en 1934 ; le rayonnement émis est appelé *rayonnement Tcherenkov.* Le rayonnement cosmique* qui traverse l'atmosphère terrestre produit un rayonnement Tcherenkov qui peut être détecté au niveau du sol à l'aide de photomultiplicateurs.

Tchibis (mot russe signifiant *vanneau).* Équipement spatial russe, semblable à un pantalon, utilisé pour créer une dépression sur la partie inférieure du corps et y provoquer un afflux sanguin proche de celui observé en pesanteur terrestre. Il sert dans les stations orbitales, lors des séjours de longue durée, afin de maintenir en bonne condition physique les cosmonautes et préparer leur retour sur Terre.

TDF (sigle de TéléDiffusion de France). Système de radiodiffusion par satellite.
ENCYCL. Décidé à l'automne 1979 par le gouvernement français, le programme TDF 1/ TDF 2 a fait l'objet d'une convention de

coopération bilatérale signée le 29 avril 1980 avec le gouvernement allemand : il était prévu de fabriquer en commun deux satellites (IDF 1 pour la couverture française, TV-Sat 1 pour la couverture allemande) ainsi qu'un modèle de rechange. En décembre 1984, le gouvernement français opta pour un système opérationnel et décida la construction d'un autre modèle de vol, TDF2.
L'objectif de ce programme était d'expérimenter, pour la première fois en Europe, ce qu'on appelle familièrement la « télévision directe ». Cette technique consiste en la diffusion, par des satellites géostationnaires de forte puissance, de programmes télévisuels et radiophoniques que les particuliers peuvent capter directement au moyen d'un équipement approprié (notamment une antenne de petites dimensions).
L'innovation technologique du programme tenait à la présence, sur chaque satellite, de six amplificateurs (à tube à onde progressive ou TOP) de forte puissance - 230 W chacun (contre une moyenne de 20 à 50 W pour les amplificateurs des satellites de télécommunications) -, dont la mise au point, en France et en Allemagne, s'avéra délicate.
En moins de trois ans, les quatre satellites furent mis à poste par Ariane, à 19° de longitude ouest : TV-Sat 1 et 2 en 1987 et 1989, TDF 1 le 28 octobre 1988 et TDF 2 le 24 juillet 1990. Mais, à l'automne 1990, à la suite de divers incidents, le système TDF se trouva amputé d'une partie de sa capacité (initialement six canaux par satellite). Cependant, cinq programmes pouvaient encore être diffusés (la Sept, Canal Plus, Euromusique, Canal J et Antenne 2), mais avec des équipements de secours en nombre plus limité que prévu initialement.
Le 26 novembre 1990, le ministre des Postes, des Télécommunications et de l'Espace - déclarant qu'il n'y aurait pas de TDF 3 - annonçait l'abandon de la filière opérationnelle des satellites de forte puissance.

TDRS (sigle de l'angl. *Tracking and Data Relay Satellite,* satellite de poursuite et de relais de données). Satellites de télécommunications géostationnaires de la NASA destinés à assurer des liaisons presque permanentes (données numériques et messages vocaux), d'une part entre véhicules spatiaux, d'autre part entre ceux-ci et la Terre.
Sept satellites ont été lancés, à l'aide de la navette spatiale, entre 1983 et 1995, tous avec succès à l'exception de TDRS-2, qui a été détruit lors de l'explosion en vol de l'orbiteur *Challenger,* en 1986.

tectite n.f. (du grec *têktos,* fondu). Petit fragment de roche d'aspect vitreux.
ENCYCL. Ces roches sont riches en SiO_2 (68 à 82 %), très pauvres en eau (0,005 %) et leur forme est aérodynamique (goutte, larme). On les trouve éparses dans des aires bien délimitées (Australie, Côte d'Ivoire, Moldavie, Thaïlande, etc.) et elles n'ont aucun rapport avec leur contexte géologique ; il s'agit vraisemblablement de fragments de roches terrestres qui ont été fondues et projetées sous l'impact de météorites.

Teide (observatoire du) Observatoire européen, situé sur l'île de Tenerife, dans l'archipel des Canaries, à 2 400 m d'altitude.
ENCYCL. Administré par l'Institut d'astrophysique des Canaries, il abrite des instruments de différents partenaires européens et il est principalement consacré aux observations solaires. Il renferme notamment : quatre télescopes solaires ayant respectivement 25, 40, 45 et 60 cm d'ouverture ; un héliosismographe ; quatre télescopes de 0,50 m à 1,55 m (ce dernier destiné aux observations dans l'infrarouge) et le télescope franco-italien Thémis*.

Tel. Abréviation de *Telescopium,* désignant la constellation du Télescope.

Télécom. Programme français de télécommunications spatiales.
ENCYCL. Le 20 février 1979, le gouvernement français décide la réalisation d'un système national de télécommunications par satellites géostationnaires. Cinq ans plus tard, le programme Télécom 1 est opérationnel avec deux satellites, Télécom 1A et 1B, lancés le 4 août 1984 et le 8 mai 1985. Un troisième modèle de vol, Télécom 1C, est mis à poste le 11 mars 1988, moins de deux mois après la défaillance de Télécom 1B.
Chaque satellite avait une masse de 1 200 kg (au lancement) et une durée de vie théori-

que de sept ans. La charge utile comprenait douze répéteurs : quatre d'une puissance de 8,5 W, en bande 4/6 GHz, pour les liaisons métropole-outre-mer ; deux de 20 W, en bande 7/8 GHz, couvrant la surface terrestre vue du satellite, pour les forces armées françaises ; et six de 20 W, en bande 12/14 GHz, couvrant l'Europe.

Le système Télécom 1 a permis d'acheminer des signaux de télécommunications (téléphone, télex, données et télévision) entre la métropole et cinq départements et un territoire d'outre-mer (Martinique, Guadeloupe, Guyane, Saint-Pierre-et-Miquelon, Réunion et Mayotte) ; de fournir des services numériques professionnels aux entreprises françaises et européennes et d'assurer les transmissions télévisuelles nécessaires à leurs actions d'information interne, d'animation et de promotion ; de transporter sur le territoire national des programmes de radio et de télévision (comme les cinquième et sixième chaînes françaises) ; et de doter la défense nationale de liaisons téléphoniques et télégraphiques sûres, discrètes et protégées contre le brouillage (programme Syracuse).

Pour garantir la continuité de ces différents services, un programme Télécom 2 a été décidé en 1987. Il comprend quatre satellites, Télécom 2A, 2B, 2C et 2D, respectivement lancés le 16 décembre 1991, le 15 avril 1992, le 6 décembre 1995 et le 8 août 1996.

Chaque modèle de vol est doté de vingt-six répéteurs : dix (de 11 W) à 4/6 GHz, cinq (de 20 ou 40 W) à 7/8 GHz et onze (de 55 W) à 12/14 GHz. Leur durée de vie prévue est de dix ans.

Les satellites français assurent aujourd'hui 15 % des liaisons téléphoniques au départ de la France métropolitaine et 99,6 % des relations avec les DOM-TOM. Outre les retransmissions de télévision et de radio, Télécom 2A offre, par exemple, une capacité de 52 000 circuits téléphoniques et 4 canaux de télévision en direction des DOM-TOM.

télécommande n.f. 1. Élaboration à distance d'un signal porteur d'un ordre. **2.** Commande à distance. Dans le premier sens, on parle, par exemple, d'antenne de télécommande ; dans le second, de la télécommande d'un véhicule automatique d'exploration lunaire ou de l'antenne d'une sonde spatiale.

télécommunications spatiales. Branche des télécommunications utilisant des satellites artificiels en tant que relais.

ENCYCL. Ce domaine constitue l'une des principales applications de la recherche spatiale. Les liaisons de télécommunications à grande distance ont longtemps buté sur la capacité limitée des câbles sous-marins et des ondes décamétriques. Les ondes centimétriques utilisées par les faisceaux hertziens apportent une solution, mais elles ne se propagent qu'en ligne droite : en raison de la courbure terrestre, l'intervalle entre deux relais ne peut excéder quelques dizaines de kilomètres. D'où l'idée de se libérer de supports au sol et de faire jouer à un satellite artificiel de la Terre le rôle de relais. Grâce à son altitude élevée, il est en mesure de « voir » simultanément, donc de relier, des antennes terrestres éloignées les unes des autres de plusieurs milliers de kilomètres.

Dès 1945, l'ingénieur britannique A. C. Clarke* propose le recours à des satellites géostationnaires, à 36 000 km du sol, se comportant comme des relais fixes, afin d'accroître la portée des communications.

Dans la nuit du 10 au 11 juillet 1962, l'humanité entre dans l'ère des télécommunications spatiales : pour la première fois, des images de télévision - relayées par le satellite Telstar* 1 - franchissent en direct l'Atlantique. Auparavant, le seul moyen de transmettre des séquences télévisées entre l'Europe et l'Amérique du Nord consistait à transporter les films par avion.

LES RELAIS GÉOSTATIONNAIRES. Jusqu'à l'arrivée récente des constellations* de satellites en orbite basse, tous les systèmes civils de télécommunications spatiales (sauf Molnia*) exploitaient des satellites géostationnaires, essentiellement pour deux raisons :

- leur fixité dans le ciel, ce qui permet d'assurer un service continu et d'employer, au sol, des antennes également immobiles mais qu'il convient d'orienter avec une précision extrême (par exemple 0,015° pour les stations Intelsat), car à une distance de 36 000 km un satellite n'est qu'une cible minuscule ;
- l'étendue de leur couverture au sol, ap-

proximativement le tiers du globe (mais les zones polaires sont inaccessibles).
Sur le pian technique, les fréquences utilisées s'expriment en gigahertz. Elles sont comprises entre 4 et 14 GHz, mais des expérimentations en cours portent au-delà, jusqu'à 60 GHz.
Autre *donnée* significative, l'accroissement considérable de la capacité de transmission de ces relais spatiaux : en vingt-cinq ans, elle est passée de 240 circuits téléphoniques (avec les deux répéteurs d'EarlyBird, 1965) à presque 120 000 (en utilisant un système de multiplication de circuits numériques) plus trois canaux de télévision (pour les Intelsat 8 actuels, dotés de 44 répéteurs chacun).
LES SERVICES. Les systèmes spatiaux de télécommunications actuels offrent une grande diversité de services puisqu'ils permettent :
- de relayer des conversations téléphoniques, des programmes radiophoniques ou télévisés ;
- d'échanger des données informatiques entre les ordinateurs d'établissements bancaires, industriels, scientifiques, etc. ;
- de maintenir un contact radio (pour le téléphone, le télex, éventuellement un message de détresse) avec des mobiles (navires de *commerce,* bateaux de pêche, pétroliers, et bientôt avions et véhicules terrestres) ;
- de rétablir rapidement une liaison avec le reste du monde dans un pays dont le réseau terrestre de télécommunications a été détruit par une catastrophe naturelle (inondations ou séismes) ;
- de diffuser vers des régions isolées des programmes éducatifs de télévision (sur la santé, l'agriculture, l'enseignement ou la formation professionnelle) ;
- de transmettre par télécopie divers documents (comme les cartes météorologiques ou les photographies d'agences de presse) ;
- d'imprimer les mêmes journaux simultanément en des lieux différents ;
- d'organiser des téléconférences (visioconférences ou vidéotransmissions) entre des interlocuteurs géographiquement dispersés.
Ces différents services peuvent, selon le type de système spatial, être assurés :
- soit au niveau mondial (par exemple avec Intelsat* ou Inmarsat*, qui sont des systèmes internationaux) ;
- soit entre pays voisins (par exemple avec Eutelsat, dont la couverture est européenne, ou Arabsat, pour les pays de la Ligue arabe, qui sont des systèmes dits régionaux) ;
- soit au niveau d'un seul pays (systèmes nationaux ou de télécommunications intérieures, tels Aussat* en Australie, Solidaridad* au Mexique, Anik* au Canada, Télécom* en France et Palapa* en Indonésie).
De tous les marchés commerciaux ouverts à l'industrie spatiale, celui des télécommunications civiles est, de loin, le plus important.
LES CONSTELLATIONS. Amorcée au début des années 1990, la politique de déréglementation et de libéralisation du domaine des télécommunications a provoqué l'éclatement des monopoles traditionnels et l'ouverture à la concurrence des services de télécommunications et engendré une très profonde évolution non seulement au niveau des systèmes et réseaux au sol mais également au niveau des systèmes de télécommunications spatiaux.

Cette libéralisation des télécommunications a ouvert la voie à une multitude d'initiatives privées visant à offrir de nouveaux services par satellites, généralement à destination directe de l'utilisateur final et ciblés sur des marchés spécifiques, et à terme, celui des activités multimédia, domaine de convergence des télécommunications, de l'audiovisuel et de l'informatique.
Une série de grands programmes reposant, pour certains, sur des constellations* de nombreux satellites, en orbite basse ou moyenne, ont été engagés.
Les orbites basses présentent divers avantages par rapport à l'orbite géostationnaire : couverture permanente et totale de la Terre, puissance plus élevée reçue au sol, réduction du temps d'acheminement du signal, emploi de satellites plus petits et moins chers, etc.
En contrepartie, la faible zone de couverture des satellites évolue avec le défilement du satellite par rapport au sol, ce qui implique l'utilisation d'un grand nombre de satellites, avec des répercussions sur les coûts. Le nouveau secteur porteur des télécommunications par satellite concerne les services large bande et multimédia, accessibles à tous les utilisateurs.

Teledesic. Projet de réseau mondial de télécommunications par satellites lancé en

1994 par la société américaine Teledesic Corp., créée par Bill Gates, président de la firme Microsoft (principal fabricant mondial de logiciels), et Craig McCaw, président de la firme McCaw Cellular Communications (principal fabricant américain de radiotéléphones). En 1998, la firme Motorola a pris une participation de 26 % dans le projet.

ENCYCL. Ce projet prévoit la mise en service, à partir de 2003, d'une constellation* de 288 satellites semi-autonomes interconnectés, placés en orbite basse autour de la Terre, à 700 km d'altitude, pour l'acheminement de communications téléphoniques et la transmission simultanée de sons, d'images ou de données informatiques.

télédétection spatiale. Ensemble des connaissances et des techniques utilisées pour déterminer les caractéristiques de la surface et de l'atmosphère de la Terre ou d'une autre planète, par des mesures effectuées à partir d'un engin spatial évoluant à distance convenable de cette dernière.

ENCYCL. Lorsque les techniques employées utilisent l'interaction de rayonnements électromagnétiques avec la matière, on parle de *télédétection électromagnétique.* Les trois types les plus courants de télédétection électromagnétique sont : dans le domaine visible et dans l'infrarouge proche, l'analyse de la lumière solaire réfléchie par l'objet ; dans l'infrarouge moyen, l'analyse du rayonnement thermique émis par l'objet ; dans le domaine hyperfréquence, l'analyse du rayonnement rétrodiffusé par l'objet soumis au rayonnement d'une source artificielle.

La manière dont un point de la surface terrestre émet un rayonnement électromagnétique propre (dans l'infrarouge) ou réfléchit les rayonnements du Soleil (domaine visible) ou de radars (ondes hyperfréquences ou micro-ondes) dépend de certaines caractéristiques de la surface terrestre en ce point : température, degré d'humidité, présence ou absence de végétation, nature de celle-ci, propriétés des roches ou des sols apparents, etc. La télédétection consiste à enregistrer à distance ces rayonnements électromagnétiques émis ou réfléchis, et à en déduire un certain nombre de caractéristiques des points observés.

La télédétection peut être effectuée depuis une plate-forme aérienne (ballon ou avion), ou bien depuis un satellite. Cette dernière solution, qui permet d'observer rapidement de vastes superficies, a d'abord été étudiée et exploitée par les Etats-Unis avec leur famille de satellites Landsat*, dont le premier a été lancé en 1972. Son très grand intérêt a conduit au développement de plusieurs autres systèmes : programme français SPOT*, européen ERS*, japonais MOS, canadien Radarsat*, etc.

Les satellites de télédétection évoluent à une altitude d'environ 900 km, sur une orbite quasi polaire inclinée d'un angle voisin de 98° sur l'équateur. Une telle orbite est héliosynchrone*, ce qui signifie qu'elle garde toujours la même orientation dans l'espace par rapport au Soleil.

Les satellites héliosynchrones survolent pratiquement tous les sites de même latitude à la même heure locale, ce qui est très favorable pour l'observation de la Terre.

LA PHOTOGRAPHIE MULTIBANDE. La première et principale technique développée pour la télédétection spatiale est celle de la photographie multibande. Elle consiste à photographier la surface terrestre simultanément dans plusieurs gammes de longueurs d'onde, généralement dans les domaines des rayonnements visible ou proche infrarouge. De cette manière, on peut déterminer la « signature spectrale » des points de la photographie, c'est-à-dire la manière dont varie la réflectivité de ces points en fonction de la longueur d'onde. L'analyse de ces « signatures spectrales » permet ensuite, si les bandes spectrales d'observation ont été bien choisies, de déterminer, par exemple, la nature des roches ou de la végétation, ou bien le degré de turbidité d'une surface aquatique, etc. Les caméras multibandes sont en général des caméras « à balayage », qui n'utilisent pas une pellicule, mais des détecteurs électroniques, pour enregistrer les rayonnements électromagnétiques. Les informations obtenues sont transmises par voie radioélectrique aux stations au sol. La résolution possible est, selon les techniques, de 10 m (SPOT) à 80 m (premiers Landsat). Une image standard a 100 à 150 km environ de large, et la totalité de la surface terrestre est couverte en 2 à 3 semaines. À la différence des capteurs optiques, les radars* of-

frent l'avantage de pouvoir fournir des images utilisables de jour comme de nuit et quelle que soit la nébulosité.

APPLICATIONS. Les principaux domaines d'activités intéressés par la télédétection spatiale sont : la cartographie (révision de cartes existantes, élaboration de nouvelles cartes, cartographie thématique) ; l'agriculture (statistiques agricoles, aménagement rural, gestion des grands domaines agricoles) ; la sylviculture (connaissance du couvert végétal naturel, inventaire forestier, aménagement forestier) ; l'hydrologie (gestion des ressources en eau, inventaire des zones humides, hydroélectricité, suivi des inondations, qualité des eaux) ; l'aménagement du territoire (études et suivi des schémas d'aménagement, grandes infrastructures, urbanisation) ; l'exploration minière et pétrolière (prospection, exploitation des gisements) ; l'océanographie (cartographie marine, gestion des zones côtières, cartographie des glaces).

télédiffusion directe -> radiodiffusion par satellite

télémesure n.f. Élaboration et transmission à distance d'un signal porteur d'informations qui résultent d'une mesure.

télémétrie n.f. Mesure de distances par des procédés optiques (télémétrie laser*), radioélectriques ou acoustiques.

Télescope (en latin *Telescopium, -ii*). Petite constellation australe, au sud du Sagittaire, introduite par La Caille en 1752. Elle ne renferme que des étoiles de faible éclat, dont la plus brillante est de magnitude apparente 3,5.

télescope n.m. Instrument d'observation astronomique dont l'objectif est un miroir. SYN. : *réflecteur*

ENCYCL. Le télescope diffère de la lunette par le fait que l'objectif en est un miroir et non une lentille (ou une combinaison de lentilles). Le premier a été réalisé par Newton 1671.

Suivant la combinaison optique utilisée, on distingue les télescopes de Cassegrain*, de Newton*, de Schmidt*, de Maksutov*, etc.

Les caractéristiques principales d'un télescope sont :

- son ouverture, c'est-à-dire le diamètre D de l'objectif (plus est grand, plus le télescope permet d'observer des astres faibles) ;
- son ouverture relative, égale au rapport de la distance focale F de l'objectif à son diamètre. Plus le rapport F/D est petit, plus les temps de pose nécessaires pour photographier les objets faibles étendus, comme les nébuleuses, sont courts.

Les télescopes, qui sont des collecteurs de lumière, sont de plus en plus rarement utilisés pour l'observation visuelle par les astronomes professionnels. On leur adjoint différents récepteurs tels que plaque photographique, photomultiplicateurs, caméra CCD*, etc. et analyseurs : spectrographes, photomètres photoélectriques, etc.

La présence de l'atmosphère terrestre constitue pour les observations astronomiques un important handicap dont on parvient désormais à s'affranchir à l'aide de télescopes opérant dans l'espace, en orbite autour de la Terre. Cependant, l'avènement des observatoires spatiaux ne sonne pas le glas de l'astronomie au sol. Pour les observations dans le domaine visible, il existe une complémentarité entre les télescopes spatiaux, de taille modeste et très coûteux en investissement et en exploitation, mais dont les performances ne sont pas limitées par l'atmosphère, et les télescopes au sol, qui, pour un coût moindre, peuvent offrir une surface collectrice beaucoup plus importante.

LA NOUVELLE GÉNÉRATION DE TÉLESCOPES. Depuis la fin des années 80, on assiste à l'installation, au sol, d'une nouvelle génération de grands télescopes (*voir* tableau), faisant appel à de nouvelles technologies. Pour diminuer le coût des investissements, on réduit les masses (monture, coupole...) ; on supprime le foyer primaire avec sa cage d'observation ; on substitue à la traditionnelle monture équatoriale une monture azimutale, beaucoup plus satisfaisante mécaniquement ; on réalise des instruments plus compacts ; enfin, on utilise des miroirs beaucoup plus minces, donc plus légers qu'auparavant, dont la surface est ajustée lors des observations par la technique de l'optique* active. Les grands miroirs primaires sont désormais

LES PLUS GRANDS TÉLESCOPES DU MONDE EN SERVICE OU EN CONSTRUCTION

Nom	Diamètre	Apparte-nance	Site	Latitude	Altitude	Mise en service
Keck 1	10 m	États-Unis	Mauna Kea, Hawaii	19°49'N.	4150 m	1993
Keck 2	10 m	États-Unis	Mauna Kea, Hawaii	19°49'N.	4150 m	1996
Hobby-Eberly Telescope (HET)	9,2 m	États-Unis, Allemagne	Mont Fowlkes, États-Unis		1 980 m	1997
Large Binocular Telescope (LBT)	8,4 m	Italie, États-Unis	Mont Graham, États-Unis	32°42'N.	3 170 m	2001
Subaru (JNLT)	8,3 m	Japon	Mauna Kea, Hawaii	19°49'N.	4140 m	1999
VLT1 (Antu)	8,2 m	Europe (ESO)	Cerro Paranal, Chili	24°51'S.	2 635 m	1998
VLT2 (Kueyen)	8,2 m	Europe (ESO)	Cerro Paranal, Chili	24°51'S.	2 635 m	1999
VLT3 (Melipal)	8,2 m	Europe (ESO)	Cerro Paranal, Chili	24°51'S.	2 635 m	2000
VLT4 (Yepun)	8,2 m	Europe (ESO)	Cerro Paranal, Chili	24°51'S.	2 635 m	2001
Gemini Nord	8,1 m	Internat.	Mauna Kea, Hawaii	19°49'N.	4100 m	1999
Gemini Sud	8,1 m	Internat.	Cerro Pachón, Chili	30°21'S.	2 720 m	2001
Monolithic Mirror Telescope	6,5 m	États-Unis	Mont Hopkins, États-Unis	31°41'N.	2 600 m	1999
Magellan	6,5 m	États-Unis	Las Campanas, Chili	29°00'S.	2 300 m	1998
BTA-6	6 m	Russie (Acad. des sc.)	Mont Pastoukhov, Caucase	43°39'S.	2 070 m	1976
Haie Telescope	5 m	États-Unis	Mont Palomar, États-Unis	33°21'N.	1 700 m	1948

soit des miroirs monolithiques minces, soit des miroirs segmentés constitués d'une mosaïque d'éléments de taille moyenne, ou encore des miroirs rigides épais allégés par une structure en nid d'abeilles. Tous ces perfectionnements permettent de construire aujourd'hui de très grands télescopes, dont la réalisation semblait naguère impossible.
Dans un proche avenir, les performances de ces instruments seront encore améliorées par la technique de l'optique* adaptative (qui corrige les effets de la turbulence de l'air) et par l'utilisation combinée de plusieurs télescopes en mode interférométrique.
On songe aussi à construire des télescopes d'une puissance inégalée dont le miroir primaire ne serait plus une galette de verre mais une surface liquide très réfléchissante en rotation (la NASA utilise déjà un télescope de 3 m à miroir de mercure pour la surveillance des débris spatiaux). De tels miroirs seraient beaucoup plus légers et bien moins coûteux que les miroirs en verre. Toutefois, les télescopes qui en seront équipés ne pourront être pointés qu'au voisinage du zénith et devront disposer de systèmes optiques de correction pour pouvoir observer une vaste portion du ciel.

→ **Hubble (télescope spatial)**

télescope spatial (Hubble) **Hubble**

Telescopium (-ii). Nom latin de la constellation du Télescope (abrév. *Tel).*

Télesto. SateËite de Saturne (n° XIII), découvert en 1980 par les Américains B. Smith, H. Reitsema, S. Larson et J. Fountain sur des photographies prises par la sonde Voyager 1.
ENCYCL. Il décrit la même orbite que Téthys*, dont il reste constamment écarté de 60° (satellite lagrangien*) et, pour cette raison, il est appelé aussi *Téthys B.* Dimensions : 30 x 16 km.

télévision par satellite. Technique d'acheminement de programmes télévisés faisant intervenir un système spatial.
ENCYCL. Depuis 1962 (année du lancement de Telstar 1), les satellites artificiels peuvent contribuer à transmettre jusqu'aux téléspectateurs des programmes de télévision. Schématiquement, on distingue deux façons de les utiliser :
- ou bien en tant que relais hertzien à faible puissance d'émission (de 10 à 30 W par canal), dont les signaux radioélectriques ne peuvent être captés que par de grandes antennes (leur diamètre variant de 3 à 30 m). Exploitées par des administrations, ces antennes servent à alimenter en images venant de l'étranger les réseaux terrestres classiques (faisceaux hertziens ou réseaux câblés), qui vont permettre d'atteindre le domicile des particuliers. On est en présence d'un service de télécommunications* (dites spatiales) dans lequel les programmes de télévision voisinent avec des conversations téléphoniques ou des données numériques. Le système Intelsat appartient à cette première catégorie ;
- ou bien en tant que relais hertzien à moyenne puissance d'émission (environ 50 W par canal), dont les signaux peuvent être captés directement par les téléspectateurs, sans autre intermédiaire entre le satellite et leur récepteur qu'un équipement adéquat (incluant une antenne d'environ 50 cm de diamètre).
On est en présence d'un service de radiodiffusion* qu'on appelle plus familièrement la « télévision directe ». Les systèmes Astra (Luxembourg) et Eutelsat (Europe) appartiennent à cette seconde catégorie.

Tele-X. Satellite géostationnaire de radiodiffusion et de télécommunications commerciales des pays nordiques.
ENCYCL. Décidé en 1983, le programme Tele-X est le fruit d'une coopération entre la Suède, la Norvège et la Finlande.
Son exécution (développement et lancement du satellite, développement des stations au sol et contrôle du satellite en orbite) a été confiée à la Swedish Space Corporation (SSC).
D'une masse de 2 130 kg au décoËage, le satellite géostationnaire a été placé en orbite le 2 avril 1989 par une fusée Ariane 2 et mis à poste par 5° ae longitude est.

tellurique adj. Relatif à la Terre. *Planète telluricjue :* planète du type de la Terre, caractérisée par des dimensions relativement modestes mais une forte densité moyenne. Mercure, Vénus et Mars forment, avec la Terre, les planètes telluriques.

Telstar. Satellites américains de télécommunications.
ENCYCL. Telstar 1, lancé de cap Canaveral le 10 juillet 1962 et placé sur une orbite de 950 km de périgée et 5 600 km d'apogée, inclinée à 45° sur l'équateur, fut le premier satellite actif de télécommunications. Cet engin de 77 kg permettait d'établir des liaisons d'une vingtaine de minutes entre les États-Unis et l'Europe. En autorisant les premières transmissions de télévision en direct au-dessus de l'Atlantique, il inaugura la Mondovision. Il fonctionna jusqu'au 21 février 1963. Telstar 2, lancé le 7 mai 1963, fut placé sur une orbite de 974 km de périgée et 10 797 km d'apogée, et fonctionna jusqu'en mai 1965. Les satellites Telstar 3 sont des satellites géostationnaires commerciaux, pesant 1 200 kg au décollage et 635 kg en orbite. Trois ont été lancés, respectivement en 1983, 1984 et 1985, mis à poste par 123°, 97° et 85° de longitude ouest. Leur relève est assurée depuis 1994 par des satellites Telstar 4, qui pèsent 3 500 kg au décollage et 2 700 kg en orbite.

température effective. Mesure de la quantité d'énergie émise par un astre, en particulier par une étoile, exprimée par la

température d'un corps* noir ayant la même luminosité totale que cet astre.

Tempêtes (océan des). La plus grande mer lunaire et, à ce titre, la seule désignée sous le nom d'*océan,* située dans la partie occidentale du disque lunaire. Cette vaste plaine de lave renferme notamment les cratères Aristarque* et Kepler - une formation de 35 km de diamètre, remarquable par les traînées radiales brillantes d'éjecta qui en émanent - ainsi que la vallée de Schrôter*.

temps n.m. 1. Paramètre permettant de repérer les événements dans leur succession. **2.** Durée d'un phénomène mesurée par la différence entre les valeurs finale et initiale du paramètre précédent.

ENCYCL. L'établissement d'une chronologie exige de définir un instant origine et une unité de mesure du temps constante. On réalise ainsi une échelle de temps.

TEMPS SIDÉRAL. La rotation de la Terre sur elle-même donne une première mesure du temps, la durée d'une rotation constituant un jour* sidéral. Mais on sait à présent que la vitesse de rotation de la Terre subit des fluctuations, dont certaines sont imprévisibles.

TEMPS SOLAIRE. La vie quotidienne impose de prendre en compte un temps solaire. Celui-ci est, en fait, calculé d'après la position instantanée du Soleil par rapport au point vernal (. Mais le Soleil ayant un mouvement sur l'écliptique irrégulier, on définit un Soleil moyen, décrivant l'équateur (et non plus l'écliptique) d'un mouvement uniforme. L'écart entre les heures de passage au méridien du Soleil vrai et à celui du Soleil moyen s'appelle 1' *équation* du temps.*

TEMPS UNIVERSEL. On a choisi un méridien origine, celui de l'ancien observatoire de Greenwich. Puis on a divisé la Terre en 24 fuseaux*, correspondant à des décalages d'une heure. Chaque pays a décidé de se rattacher (suivant son étendue) à un ou plusieurs de ces fuseaux internationaux. Certains pays changent de fuseau selon la saison (heure d'été, heure d'hiver). Le temps ainsi défini est dit *temps légal.* La connaissance du numéro du fuseau auquel on est rattaché permet de repérer l'instant d'un phénomène quelconque par rapport à un système international qui porte le nom de temps universel (UT).

TEMPS ATOMIQUE INTERNATIONAL (TAI). Cette échelle de temps, établie sur la base d'indications fournies par des horloges atomiques, est constituée par une succession ininterrompue de secondes internationales (SI).

TEMPS UNIVERSEL COORDONNÉ. Le retour du Soleil au même méridien sous l'effet conjugué de la rotation de la Terre et du mouvement du Soleil parmi les étoiles est la base de l'échelle du temps universel. Celle-ci ne coïncide pas avec l'échelle TAI, aussi les signaux horaires et les horloges parlantes diffusent-ils le temps universel coordonné (UTC), défini depuis 1972, qui est, comme le "TAI, une succession de secondes internationales mais numérotées de telle sorte que l'échelle ainsi constituée coïncide avec le temps universel à moins de 0,9 seconde près. Quand les échelles TAI et UT ont trop divergé, on effectue un saut dans la numérotation de secondes de l'échelle UTC, en général à la fin de juin et à la fin de décembre.

Depuis 1978, le temps légal en France est le temps universel coordonné auquel on ajoute une ou deux heures suivant la saison.

temps universel. Échelle de temps étroitement reliée au mouvement apparent quotidien du Soleil rapporté au méridien de Greenwich, où les jours sont comptés de 0 à 24 h, avec changement de quantième à minuit, et qui sert de référence mondiale pour les besoins de la vie civile. Elle est désignée internationalement par l'abréviation UT.

ENCYCL. En observant la rotation de la Terre par rapport aux étoiles, on détermine une échelle de temps appelée UTO (UT zéro), d'où se déduisent l'échelle UT1 (UT un), corrigée des effets des petits mouvements de la Terre par rapport à son axe de rotation, et l'échelle UT2 (UT deux), corrigée en outre des variations saisonnières de la rotation de la Terre. L'échelle de temps diffusée par les signaux horaires et les horloges parlantes est le *temps universel coordonné* (abrév. : UTC), qui n'est autre que le temps atomique international - échelle continue de temps établie par le Bureau international des poids et mesures sur la base des indications fourmes par des horloges atomiques étalons réparties à travers le monde - ajusté par sauts d'une

scande de telle sorte qu'il concorde tou~~juuis~~ **à** moins de **1** seconde près avec **récbeQe** UT1.

lërechkova (Valentina Vladimirovna), **cosmonaute** russe (près de Iaroslavl 1937). **ftemière** femme lancée dans l'espace, elle a **effectué** 48 révolutions autour de la Terre, à **bord du** vaisseau Vostok* 6, lors d'un vol de **70 h** 41 min, du 16 au 19 juin 1963.

temninateur n.m. Ligne de séparation en**tre la** partie d'un astre du système solaire **éclairée** par un autre et sa partie obscure.

terra n.f. (mot latin ; pl. *terrae).* Vaste ré**gion** accidentée, dans la nomenclature internationale du relief des surfaces planétaires.

terraforming (mot angl.) n.m. Sur un astre autre que la Terre, création par l'Homme, **à l**'échelle de cet astre, de conditions permettant une vie de type terrestre. (Le Conseil international de la langue française préconise le néologisme *écogénèse.)*

Terre n.f. Planète du système solaire habitée par l'homme.

ENCYCL. Prototype des planètes telluriques, la Terre décrit autour du Soleil une orbite elliptique de faible excentricité à une distance moyenne voisine de 149,6 millions de kilomètres. Le plan de cette orbite est appelé *l'écliptique.* Indépendamment de sa translation sur cette orbite, la Terre tourne autour d'un axe passant par son centre de gravité (axe des pôles ou axe sud-nord géographique). Sa révolution autour du Soleil détermine la durée de l'année*, et sa rotation autour de l'axe des pôles celle du jour*, avec ses variations suivant les saisons*. Aucun de ces deux mouvements n'est uniforme. **-* nutation, perturbation, précession.**
Comme les autres planètes du système solaire, la Terre s'est formée au sein d'une masse gazeuse, avec condensation et différenciation chimique sous les effets combinés de la gravité et des divers processus de transformation énergétique. Elle se distingue des autres planètes telluriques par la présence d'un gros satellite naturel, la Lune*, ainsi que par son champ magnétique relativement fort qui a subi un grand nombre de renversements (ou inversions) au cours des temps géologiques.

CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES DE LA TERRE	
diamètre équatorial	12 756 km
diamètre polaire	12 713 km
aplatissement	0,0034
masse	5,98-10^{24} kg
densité moyenne	5,52
accélération de la pesanteur à l'équateur	9,78 m/s^{2}
vitesse de libération	11,2 km/s
période de rotation sidérale	23 h 56 min 04 s
inclinaison de l'équateur sur l'orbite	23° 26'
albédo	0,39
intensité du champ magnétique	5-10"^{5} T (en moyenne, à la surface du globe)

CARACTÉRISTIQUES ORBITALES DE LA TERRE	
demi-grand axe de l'orbite	149 597 870 km, soit 1 ua (unité astronomique)
distance maximale au Soleil	152 100 000 km
distance minimale au Soleil	147 100 000 km
excentricité	0,0167
inclinaison sur l'écliptique	0 par définition
période de révolution sidérale	365 j 6 h 9 min 9,5 s
vitesse orbitale moyenne	29,79 km/s

L'âge de la Terre est aujourd'hui estimé à 4,6 milliards d'années.

STRUCTURE. La Terre est une succession de couches, solides, liquides ou gazeuses, plus ou moins emboîtées. L'enveloppe gazeuse constitue l'atmosphère, formée d'éléments légers volatils (essentiellement 78 % d'azote et 21 % d'oxygène, en volume), qui proviennent du dégazage du globe solide. L'enveloppe liquide, appelée *hydrosphère,* comprend l'ensemble des mers, océans, rivières et glaciers ; sa composition moyenne est pratiquement celle de l'eau de mer. Les couches solides sont, en proportion de leur masse, les plus importantes.

LA PARTIE SOLIDE. Schématiquement, la partie solide de la Terre se divise en trois zones concentriques : la croûte, le manteau (subdivisé en manteau supérieur et manteau inférieur) et le noyau (subdivisé en noyau externe et noyau interne ou graine). Globalement, on distingue : la croûte continentale, de 30 à 40 km d'épaisseur environ (atteignant 75 km parfois, sous les montagnes), comprenant des roches sédimentaires ou métamorphiques sur quelques kilomètres, « posées » sur une couche de type granitique ; la croûte océanique, d'environ 5 à 10 km d'épaisseur, composée en majorité de basalte.

Le passage de la croûte au manteau se situe le long de ce qu'on appelle la *discontinuité de Mohorovicic* (ou *moho),* liée à une variation brusque de vitesse des ondes sismiques la traversant, qui est considérée comme enveloppant le manteau d'une façon continue. Sous cette discontinuité, le manteau s'étend jusqu'à une profondeur de 2 900 km environ.

La base du manteau est limitée par la *discontinuité de Gutenberg.* Le fait marquant à ce niveau est la disparition des ondes sismiques de cisaillement, montrant le passage de matériaux solides à un noyau fluide. Ce noyau se divise en noyau externe, jusqu'à une profondeur de 5 100 km, et noyau interne, solide, ou graine. Le noyau externe, composé en majorité de fer en fusion, serait le siège de phénomènes convectifs à l'origine du champ magnétique terrestre.

A cette décomposition de nature chimique et minéralogique se superpose une décomposition de nature physique qui traduit un changement de l'état cristallin de la matière. Ce découpage est le suivant :

- la lithosphère, enveloppe externe rigide pouvant atteindre 100 km d'épaisseur sous les continents (c'estla zone mise enjeu dans la théorie de la tectonique des plaques) ;
- l'asthénosphère, marquée par une faible résistance mécanique due à un état visqueux des matériaux la composant, jusqu'à 350 à 400 km de profondeur environ ; - la mésosphère, rigide dans sa partie haute jusqu'à 650 km environ.

SATELLITES D'ÉTUDE DE LA TERRE. L'utilité des satellites comme instruments d'étude de la Terre et de son environnement est apparue dès les débuts de l'ère spatiale avec la découverte des ceintures* de rayonnement de la planète par Explorer 1, en 1958, et la transmission des premières images de la couverture nuageuse du globe par TIROS 1, en 1960. Depuis, grâce aux engins spatiaux, d'importants progrès ont été accomplis en géodésie*, en géophysique*, en météorologie*, en océanographie*, ainsi que pour la télédétection* des ressources terrestres. Avec les préoccupations récentes concernant les transformations de l'environnement engendrées par les activités humaines et susceptibles, en retour, de perturber, voire de menacer le développement de la société, l'observation* de la Terre est devenue une priorité dans les programmes spatiaux : programmes EOS (Earth Observing System) des Etats-Unis, Envisat de l'Agence spatiale européenne, JPOP (Japanese Polar Orbiting Platform) du Japon, etc.

tessera n.f. (mot latin ; pl. *tesserae).* Structure tectonique polygonale dans la nomenclature internationale du relief des surfaces planétaires, typique en particulier de celui de Vénus.

Tête de Cheval (nébuleuse de la). Nébuleuse obscure, en forme de tête de cheval, dans la constellation d'Orion.

ENCYCL. Elle se détache en ombre chinoise sur le fond lumineux d'une nébuleuse diffuse à émission. Ce n'est en fait qu'une protubérance d'un immense nuage sombre et dense de poussières interstellaires qui absorbe entièrement la lumière des étoiles situées à l'arrière-plan.

Téthys. Satellite de Saturne (n° III), découvert en 1684 par J.D. Cassini. Demi-grand axe de son orbite : 294 660 km. Période de révolution sidérale : 1,888 j. Diamètre : I 058 km. Densité moyenne : 1.
ENCYCL. La surface de Téthys, révélée en 1980 et 1981 par les sondes américaines Voyager, est criblée de cratères météoritiques, donc très ancienne ; mais ces cratères sont inégalement distribués selon les régions, ce qui laisse supposer que le satellite a pu connaître un remodelage superficiel sous l'effet d'une activité interne. Les deux formations les plus spectaculaires qu'on y distingue sont un cratère de 400 km de diamètre *(Odyssée)* et une vallée de 2 000 km de long *(Ithaca Chasma)* qui résulte peut-être de mouvements d'expansion de la croûte. Cet astre est vraisemblablement constitué essentiellement de glace entourant un noyau rocheux.

Texus (abrév. de l'allemand *Technologische Expérimente Unter Sehwerelosigkeit).* Programme allemand de recherche en science des matériaux, en micropesanteur, effectué à l'aide de fusées-sondes.
ENCYCL. Le premier vol a eu lieu en 1977. Les dispositifs expérimentaux sont placés dans une charge utile qui revient se poser au sol, freinée par un parachute, à l'issue du vol. Les expérimentations sont exécutées pendant la phase du vol balistique de la fusée, qui dure 6 min. La micropesanteur obtenue est d'un cent-millième à un dix-millième de la pesanteur régnant à la surface de la Terre.

Thagard (Norman E.), astronaute américain (Marianna, Floride, 1943).
II fut le premier astronaute américain à participer à un vol spatial avec les Russes (Soyouz TM 21, le 14 mars 1995) et à séjourner dans la station Mir (jusqu'au 7 juillet 1995).

Thaïcom. Premiers satellites thaïlandais. Trois exemplaires ont été lancés sur l'orbite géostationnaire en 1993, 1994 et 1997 pour les télécommunications.

Thalassa. Satellite de Neptune (n° VII), découvert en 1989 par la sonde américaine Voyager 2. Demi-grand axe de son orbite : 50 075 km. Période de révolution sidérale : 7 h 26 min. Diamètre : 80 km.

Tharsis. Vaste région volcanique de la planète Mars, dans l'hémisphère Nord, près de l'équateur, à l'ouest de *Vallès Marineris.*
ENCYCL. Elle forme un dôme qui s'élève à 10 km environ au-dessus du niveau de référence martien. Elle renferme une chaîne de trois volcans boucliers géants *(Tharsis Montes),* de plus de 20 km d'altitude, alignés selon une direction nord-est-sud-ouest : *Ascraeus Mons, Pavonis Mons* et *Arsia Mons.* Au nord-ouest de cette chaîne se trouve le plus grand volcan martien, *Olympus* Mons.*

Thébé. Satellite de Jupiter (n° XIV), découvert en 1979 par l'Américain S.P. Synnot, sur des photographies prises par la sonde américaine Voyager 1. Demi-grand axe de son orbite : 221 000 km. Période de révolution sidérale : 0,675 j. Diamètre : 80 km.

Thémis (acronyme de Télescope Héliographique pour l'Étude du Magnétisme et des Instabilités Solaires). Télescope sous vide (pour éviter la turbulence dans le tube) de 90 cm de diamètre et de 15 m de focale, construit dans le cadre d'une coopération franco-italienne, installé à l'observatoire du pic de Teide*, sur l'île de Tenerife, et destiné à l'étude^ du Soleil.
ENCYCL. Equipé d'un magnétographe à très haute résolution, cet instrument est conçu pour l'observation des structures fines du champ magnétique et des mouvements de la matière dans l'atmosphère solaire. Sa mise en service a eu lieu en 1996. Ses observations sont corrélées avec celles du satellite Soho*.

Thémis. Satellite hypothétique de Saturne, qui aurait été découvert en 1900, sur des photographies, par l'astronome américain W.H. Pickering et observé à nouveau en 1904, mais qui n'a jamais été retrouvé depuis, et dont l'existence est considérée désormais comme très douteuse.

théodolite n.m. Instrument portatif servant à montrer des angles horizontaux et verticaux, en particulier les azimuts et les hauteurs.

Théophile. Cirque lunaire, au nord-ouest de la mer du Nectar. Coordonnées : 12° S., 26° E. Diamètre : 100 km. Nom international : *Theophilus.*

ENCYCL. Ce très beau cratère est entouré de remparts en terrasse de plus de 4 km de haut et possède, au centre, un massif montagneux de 2 000 m d'altitude. Il forme une chaîne avec les cratères Cyrille (97 km de diamètre) et Catherine (88 km de diamètre).

thermique adj. Se dit du rayonnement électromagnétique qui résulte de l'état thermique (c'est-à-dire de la température) de la source considérée, par opposition au rayonnement dit *non thermique,* émis par des électrons énergétiques qui ne sont pas nécessairement en équilibre thermodynamique.

tholus n.m. (mot latin ; pl. *thoh).* Colline ou petite montagne en forme de dôme, dans la nomenclature internationale du relief des surfaces planétaires.

Thor. Missile américain à moyenne portée, à propergol liquide, développé à la fin des années 50 et qui a été à l'origine de la famille des lanceurs Thor Delta, puis Delta*.

Tiouratam. Bourgade du Kazakhstan, au N.-E. de la mer d'Aral, à 40 km au nord de laquelle se trouve le principal cosmodrome de la Russie, officiellement désigné sous le nom de Baïkonour* jusqu'en juillet 1992.

tir n.m. Action de lancer un projectile vers un objectif au moyen d'une arme. L'emploi de ce terme pour désigner un lancement d'engin spatial est tout à fait impropre.

TIROS (sigle de *Télévision and InfraRed Observation Satellite,* satellite d'observation par télévision et dans l'infrarouge). Satellites météorologiques américains, dont quatre générations se sont succédé au cours des années 60 et 70.

ENCYCL. TIROS 1, lancé le 1er avril 1960 et placé en orbite à quelque 700 km d'altitude, peut être considéré comme le premier satellite météorologique. Cet engin de 120 kg, en forme de tambour (1,10 m de diamètre pour 0,60 m de hauteur), était doté de deux petites caméras de télévision. Il fonctionna pendant 78 jours et transmit près de 23 000 vues de la surface terrestre et de sa couverture nuageuse ; chaque vue couvrait environ 1 000 km^2 et montrait des détails de l'ordre du kilomètre. Neuf engins analogues lui succédèrent, de 1960 à 1965, et fonctionnèrent tous avec succès. Un sur deux était équipé d'un radiomètre infrarouge et d'un dispositif destiné à mesurer l'intensité du rayonnement reçu et réfléchi par la Terre. À partir de TIROS 8, en 1963, ces satellites furent dotés d'un système de transmission automatique des images, permettant la réception de celles-ci en temps réel par un réseau de stations réparties sur la Terre. Les premiers TIROS, placés sur des orbites inclinées à 48°, puis 58°, sur l'équateur, ne permettaient pas d'observer les formations nuageuses à l'aplomb des régions polaires. TIROS 9, en 1965, fut le premier engin de la série à décrire une orbite polaire.

La seconde génération de TIROS comporta neuf engins, lancés de 1966 à 1969 : ces satellites opérationnels TOS (TIROS Operational Satellite) furent rebaptisés ESSA*, du nom de l'administration américaine responsable de leur exploitation. Ils disposaient de caméras vidicon de 2,54 cm de diamètre contre 1,27 cm pour celles des premiers TIROS : la qualité des images fournies était, par suite, bien meilleure.

La technologie éprouvée des TIROS et des ESSA permit l'avènement, en 1970, d'une troisième génération, celle des ITOS (Improved TIROS Operational Satellite), qui cumulaient en un unique satellite les fonctions combinées de deux engins ESSA : transmission automatique directe des images et stockage de données avant leur transmission et leur traitement au sol. ITOS 1, lancé le 23 janvier 1970, fournissait à lui seul une vue complète de la couverture nuageuse terrestre en 12 h alors qu'il fallait 24 h à deux engins ESSA pour parvenir au même résultat. 7 satellites ITOS ont été lancés (dont un ne put être placé en orbite), de 1970 à 1976. Contrairement à leurs prédécesseurs, stabilisés par rotation, ils étaient stabilisés selon trois axes ; pour la première fois, ils possédaient des radiomètres à très haute résolution, opérant dans le visible et l'infrarouge, et permettant l'identification de toutes les formations nuageuses, de jour comme de

nuit ; ils pouvaient également relever la température de l'atmosphère à différentes altitudes. À partir d'ITOS 2, lancé le 11 décembre 1970, ils furent rebaptisés NOAA* (du nom de l'administration qui les exploite) après leur mise en orbite.
TIROS-N, en 1978, a marqué l'avènement d'une quatrième génération de TIROS, équipés de radiomètres encore plus performants, de sondeurs infrarouges et micro-ondes et du système ARGOS* de localisation et de collecte de données. Placés en orbite polaire héliosynchrone à 850 km environ, ces engins poursuivent la série des satellites NOAA, qui constituent, avec les satellites géostationnaires GOES, le réseau de satellites météorologiques opérationnels des États-Unis. Les lancements sont effectués de telle sorte que deux satellites, écartés angulairement ae 90°, fonctionnent toujours simultanément.

Tisserand (Félix), astronome français (Nuits-Saint-Georges 1845-Paris 1896).
Ses principaux travaux concernent la mécanique céleste : théorie de la Lune, des perturbations planétaires, etc. Son *Traité de mécanique céleste* (1889-1896) constitue une mise à jour de l'œuvre de Laplace.

Titan. Lanceurs américains développés, dans les années 1950, à partir d'un missile à longue portée.
ENCYCL. Trois générations ont vu le jour :
- Titan 2, biétage, à ergols stockables, qui a essentiellement servi au programme Gemini (1964-1966) ;
- Titan 3, qui comporte 2 ou 3 étages et, le plus souvent, 2 propulseurs d'appoint à poudre. Depuis 1964, plus de 150 exemplaires (toutes configurations confondues) ont été lancés, presque exclusivement à l'usage des militaires. Le 1er janvier 1990 a eu lieu le premier vol d'une version aujourd'hui commercialisée : elle pèse 680 t au décollage et peut placer environ 14 t en orbite basse ou 4,61 sur l'orbite de transfert géostationnaire, ce qui en fait un concurrent d'Ariane 4 ;
- Titan 4, mis en service le 14 juin 1989 et qui utilise comme étage supérieur tantôt l'étage à poudre IUS, tantôt l'étage cryotechnique Centaur. Dans sa version la plus performante, il peut placer près de 20 t en orbite basse autour de la Terre. Il sert surtout à lancer divers satellites militaires américains. De 1989 à 1998, une vingtaine de lancements ont été effectués, dont deux ont échoué (en août 1993 et août 1998).

Titan. Le plus gros des satellites de Saturne (n° VI) et le premier qui ait été découvert, en i655, par C. Huygens. Demi-grand axe de son orbite : 1 222 000 km. Période de révolution sidérale : 15,945 j. Diamètre : 5 150 km.
ENCYCL. Par bien des aspects, Titan s'apparente aux planètes telluriques. Sa taille est intermédiaire entre celle de Mercure et celle de Mars et, de tous les satellites du système solaire, il est le seul à posséder une atmosphère substantielle, détectée pour la première fois en 1944 par spectroscopie. L'essentiel de ce que l'on sait à son sujet provient de la sonde américaine Voyager 1, qui, le 12 novembre 1980, est passée à 4 400 km de sa surface. Son atmosphère, comme celle de la Terre, est constituée principalement (à plus de 80 %) d'azote moléculaire. Le méthane y joue un rôle important par la photochimie qu'il engendre. Sous l'action du rayonnement ultraviolet solaire, la photodissociation du méthane et de l'azote provoque la formation de divers hydrocarbures (éthane, éthylène, acétylène...). Les molécules ainsi formées se condensent au-dessous de 200 km d'altitude en particules microscopiques d'aérosols qui tombent lentement vers le sol et sont à l'origine d'une couche de brume, épaisse et uniforme, de couleur orangée, qui voile entièrement la surface. Au sol, où règne une pression de 1,6 bar environ, la température, voisine de -180 °C, laisse supposer la présence d'étendues de méthane et d'éthane liquides, tandis que, dans l'atmosphère, la présence de nuages et même de pluies de méthane paraît probable. Avec une densité moyenne de 1,88, Titan doit être constitué de roches et de glace en proportions à peu près égales. D'après les mesures de Voyager 1, il ne possède pas de champ magnétique notable, ce qui indique qu'il est dépourvu de noyau métallique conducteur. Sans doute sa structure interne s'apparente-t-elle beaucoup à celle des deux principaux satellites de Jupiter - Ganymède et Callisto - avec un noyau

rocheux entouré d'un épais manteau de glace.
Les premières images de sa surface ont été obtenues en 1994 dans le proche infrarouge, grâce au télescope spatial Hubble* : elles ont révélé la présence, au sud de l'équateur, d'une région brillante de la taille d'un continent, qui pourrait être une zone accidentée.
L'exploration spatiale de Titan doit se poursuivre en 2004 avec la sonde européenne Huygens*.

Titania. Satellite d'Uranus (n° III), découvert par W. Herschel en 1787, en même temps qu'Obéron. Demi-grand axe de son orbite : 436 000 km. Période de révolution sidérale : 8,706 j. Densité moyenne : 1,7. Diamètre : 1 580 km.
ENCYCL. C'est le plus gros satellite d'Uranus. Sa surface, révélée en 1986 par la sonde Voyager 2, apparaît grêlée de cratères d'impacts de 10 à 50 km de diamètre. Ceux-ci résultent, semble-t-il, d'un bombardement plus récent que celui ayant affecté Umbriel et Obéron, et dû à des corps qui gravitaient autour d'Uranus. On y observe aussi un réseau de failles profondes, dont certaines atteignent 1 500 km de long et 75 km de large.

Titius-Bode (loi de). Relation donnant de manière approximative les distances relatives moyennes au Soleil des planètes principales du système solaire.
ENCYCL. Signalée en 1766 par l'Allemand Johann Daniel Titius (1729-1796), elle est surtout connue grâce à J.E. Bode, qui la publia en 1772. D'après cette loi, les distances moyennes des planètes au Soleil (celle de la Terre étant prise pour unité) s'obtiennent en considérant la série 0 3 6 12 24 48 96..., où chaque nombre, à partir du troisième, est le double du précédent en ajoutant 4 à chacun des termes et en divisant par 10 chacun des nombres ainsi obtenus. Mathématiquement, la relation s'exprime par une progression géométrique : $D = 0,4 + 0,3 \times 2^n$ avec *n* égal à $-\infty$ pour Mercure, à 0 pour Vénus, à 1 pour la Terre, à 2 pour Mars, etc., D étant la distance de la planète considérée (exprimée en unités astronomiques). Cette relation est à peu près vérifiée jusqu'à Uranus, mais n'est pas correcte pour Neptune et Pluton. Elle a joué un rôle important dans l'histoire de la découverte des astéroïdes*. Elle résulte des conditions de symétrie initiales du système solaire.

Titov (Vladimir), cosmonaute russe (Sretensk, Russie orientale, 1947).
Il fut, avec Manarov, le premier homme à séjourner plus d'une année dans l'espace (essentiellement à bord de la station orbitale Mir), très exactement 365 j 22 h 40 min (21 décembre 1987-21 décembre 1988).

Tognini (Michel), officier de l'armée de l'air et spationaute français (Vincennes 1949).
Sélectionné comme spationaute par le CNES en 1985, il suit, en 1987 et 1988, un entraînement à la Cité* des étoiles, en Russie, pour la mission Aragatz*, en tant que remplaçant éventuel de Jean-Loup Chrétien. Après un nouvel entraînement à la Cité des étoiles, en 1991 et 1992, il participe, du 27 juillet au 10 août 1992, à la mission spatiale franco-russe Antarès*. En 1999, il doit participer à une nouvelle mission (STS 93) de la navette américaine.

Tokyo (observatoire astronomique de). Ancien nom d'un institut de recherche de l'université de Tokyo, fondé en 1888 et qui constitue aujourd'hui l'une des composantes de l'observatoire astronomique national du Japon, dont il abrite le siège.
ENCYCL. Fondé en 1988, l'observatoire astronomique national du Japon réunit, outre l'observatoire de Tokyo, ceux d'Okayama et de Dodaira, la station d'observation de Norikura et l'observatoire radioastronomique de Nobeyama*. Il a engagé, à l'observatoire du Mauna* Kea, à Hawaii, la construction d'un grand télescope optique et infrarouge, le JNLT *(Japanese National Large Telescope)*, plus couramment appelé Subaru*.

Tombaugh (Clyde), astronome américain (Streator, Illinois, 1906 - Las Cruces, Nouveau-Mexique, 1997). D'abord astronome amateur, il fut engagé à l'observatoire Lowell où il découvrit photographiquement la planète Pluton en 1930. On lui doit aussi, notamment, la découverte de treize astéroïdes et de deux comètes.

Topex-Poséidon. Programme franco-américain d'océanographie spatiale.

ENCYCL. Décidée en 1987, cette mission scientifique résulte de la réunion du programme Topex *(océan TOPograyky EXyeriment)* de la NASA et du projet Poséidon du CNES. Elle se propose d'établir, au moyen d'un satellite artificiel, la topographie de la surface des océans à l'échelle de la planète sur au moins cinq ans, de manière à déterminer la circulation océanique mondiale et à étudier son influence sur le climat.
Le satellite Topex-Poséidon emporte plusieurs instruments :
- deux altimètres radars (l'un de fabrication américaine, l'autre - Poséidon - réalisé en France par Alcatel Espace) dont le rôle est d'émettre, 1 700 fois par seconde, une impulsion électromagnétique très brève (de trois milliardièmes de seconde) et de capter le faible écho rétrodiffusé par la mer. L'analyse de cet écho donne la valeur de l'altitude du satellite (à quelques centimètres près), la hauteur des vagues et la vitesse du vent (qui agit sur la puissance de l'écho) ;
- un radiomètre américain pour déterminer la quantité de vapeur d'eau présente sur le trajet des impulsions (et corriger les données altimétriques) ;
- trois instruments d'orbitographie précise (dont le capteur français DORIS) pour connaître, à tout instant et par trois méthodes indépendantes, la position du satellite.
C'est le 10 août 1992 qu'un lanceur Ariane a propulsé le satellite Topex-Poséidon vers une orbite circulaire, à 1 330 km d'altitude, inclinée de *66*°.
Depuis cette date, il n'a cessé de fournir des informations essentielles sur les océans exploitées par plus de 400 utilisateurs dans le monde.
La réussite de cette mission ouvre des perspectives scientifiques et opérationnelles nouvelles. Le 20 décembre 1996, le CNES et la NASA ont décidé de poursuivre leur coopération en altimétrie spatiale en réalisant le successeur de Topex-Poséidon, Jason* 1, qui sera lancé en mai 2000.

Torrejôn. Ville d'Espagne, dans la région de Madrid.
ENCYCL. Le Conseil des ministres de l'Union de l'Europe occidentale (UEO), organisation de concertation des politiques de défense des pays d'Europe occidentale, a décidé le 27 juin 1991 d'y créer un Centre européen de traitement et d'interprétation d'images satellitaires pour la vérification du respect des accords de désarmement.
Il s'agit d'une première étape vers la mise en place d'un système européen d'observation spatiale militaire.

total, e adj. 1. Se dit d'une éclipse de Soleil durant laquelle le disque solaire est complètement occulté par la Lune et, plus précisément, de la phase de l'éclipsé correspondant à ce phénomène. **2.** Se dit d'une éclipse d'un astre quelconque durant laquelle cet astre pénètre complètement dans le cône d'ombre d'un autre et, plus précisément, de la phase de l'éclipsé correspondant à ce phénomène.

Toucan. Petite constellation australe, proche du pôle céleste Sud, introduite par J. Bayer dans son *Uranometria,* en 1603. Son étoile la plus brillante est de magnitude apparente 2,9.
ENCYCL. Le Toucan renferme, au sud, le Petit Nuage de Magellan* et l'amas globulaire NGC 104 (ou 47 Toucan), situé à 13 000 années de lumière, tous deux visibles à l'œil nu.

Toulouse. Chef-lieu de la Région Midi-Pyrénées (plus de 600 000 hab. avec la banlieue), l'une des grandes métropoles de l'Europe spatiale.
ENCYCL. Toulouse compte environ 7 000 salariés du secteur de l'espace, soit plus du tiers des emplois spatiaux de la France. Mais, sur le plan industriel, son renom lui est d'abord venu de ses activités dans le domaine de l'aviation.
HISTORIQUE. La vocation aéronautique de Toulouse date de la Première Guerre mondiale : en 1917, l'industriel P. Latécoère y installe son usine de fabrication d'avions pour l'armée. Peu après, il crée la première ligne aérienne reliant la France à l'Afrique de l'Ouest. Les noms de ses pilotes et de ses ingénieurs sont légendaires : Saint-Exupéry, Mermoz, Daurat, Guillaumet, etc., tout comme celui de Montaudran, dont l'aérodrome était le point de départ pour le Sénégal et l'Amérique du Sud.
Le développement de cette activité attire

d'autres entreprises : Potez, Breguet, Sud-Aviation... Les regroupements qui s'opèrent avec la Seconde Guerre mondiale donnent naissance, entre autres, à la SNIAS (aujourd'hui Aérospatiale). Installé à proximité de l'aéroport international de Blagnac, son établissement toulousain - dont les chaînes de montage ont produit les avions Caravelle, Concorde, Airbus, etc. - emploie à présent 8 000 personnes, soit la moitié des effectifs de l'aéronautique toulousaine.
Dans les années 60, le gouvernement français encourage la synergie entre l'aéronautique et l'espace, industrie alors naissante dont les techniques et les méthodes exigeantes sont assez proches. Sa volonté de décentralisation profite à Toulouse, qui étend ainsi sa vocation au secteur spatial.
LES ACTIVITÉS SPATIALES. Dès *1968*, le *CNES* (Centre national d'études spatiales) crée à Toulouse son principal centre technique, au sud-est de la ville, dans le complexe scientifique de Rangueil-Lespinet, à deux pas de la piste historique de Montaudran. Ses fonctions, multiples, vont de la conception des programmes spatiaux à l'exploitation des satellites en orbite. Vingt ans plus tard, environ 2 000 personnes y travaillent. D'autres sociétés, à vocation complémentaire, s'installent à proximité : SPOT Image, le GDTA, Sat-Control, Intespace, IGN Espace, etc. Progressivement, des laboratoires de recherche spatiale se constituent : le CESR (étude des rayonnements), le GRGS (géodésie), le GRBS (biologie), le LERTS (télédétection), etc. Sont également créées une université scientifique (Paul-Sabatier) et des structures d'enseignement : en 1968, « Sup'Aéro », l'Ecole nationale supérieure de l'aéronautique et de l'espace, quitte Paris pour le complexe de Lespinet.

Enfin, ce sont les « grands » industriels de l'espace qui décident d'y décentraliser une partie de leurs activités et d'y créer, à leur tour, leur centre spatial :
- Matra Espace (aujourd'hui Matra Marconi Space), à partir de 1975, qui dispose de la plus grande salle blanche d'intégration de satellites d'Europe et fait travailler quelque 1 500 personnes ;
- Thomson (aujourd'hui Alcatel Space Industries), en 1982, premier constructeur européen de charge utile de satellites de télécommunications et de radiodiffusion, qui emploie 1 700 salariés.
Parallèlement, l'agglomération toulousaine voit éclore un grand nombre de sociétés, de taille variable, qui consacrent une part plus ou moins importante de leurs activités au spatial en tant que bureaux d'études, prestataires de services (notamment en informatique) ou fournisseurs d'équipements divers.
A l'est de la ville, la Cité* de l'espace, lieu d'expositions et de manifestations illustrant les grands thèmes liés à l'aventure spatiale, a ouvert ses portes en juin 1997.

Toungouska (cataclysme de la). Cataclysme survenu le 30 juin 1908 dans la région de la Toungouska Pierreuse, en Sibérie centrale, à 800 km au nord-ouest du lac Baïkal.
ENCYCL. Un météore aveuglant traversa le ciel vers 7 h 15 (heure locale) de l'est-sud-est à l'ouest-nord-ouest, laissant derrière lui une énorme traînée de poussière grise. Une violente explosion, entendue dans un rayon de 1 500 km, engendra un souffle de feu qui dévasta toute la forêt dans un rayon de 10 km et une onde de choc qui déracina les arbres sur 100 km. Les nuits suivantes, en Europe, en Asie et en Amérique, le ciel présenta une luminosité inhabituelle, qui persista pendant près de deux mois. L'hypothèse la plus généralement admise aujourd'hui pour expliquer ce phénomène invoque l'explosion dans la haute atmosphère, à une altitude comprise entre 6 et 9 km, d'un fragment de noyau cométaire (peut-être issu de la comète d'Encke*) ou d'un petit astéroïde d'une masse voisine de 100 000 t. Des tonnes de poussières auraient été libérées dans l'atmosphère L'énergie dégagée aurait été de l'ordre de 2 000 fois celle émise plus tard par l'explosion de la bombe d'Hiroshima.

tour de lancement. Type particulier de rampe de lancement dans laquelle le dispositif mécanique de guidage initial est réalisé par des rails équidistants inclus dans une charpente.

tour d'impesanteur. Bâtiment élevé abritant un puits conçu pour l'expérimentation en impesanteur.

ENCYCL. Dans une tour d'impesanteur, l'objet à étudier est soumis, pendant quelques secondes, à une simple chute libre dans le vide.
La hauteur des installations existantes est généralement d'une centaine de mètres.
Cependant, le Japon a mis en service, à la fin de 1991, un puits profond de 710 m aménagé dans une mine de charbon désaffectée, dans lequel on peut soumettre une capsule de 51 (dont 11 d'expériences) à dix secondes d'impesanteur. L'Allemagne travaille à un projet comparable.
La plus haute tour d'impesanteur d'Europe est celle du Centre de technologie spatiale appliquée et de micropesanteur de Brème, en Allemagne. Elle mesure 146 m de hauteur totale, et une capsule de 170 kg y effectue 110 m de chute libre, ce qui permet d'obtenir à l'intérieur de cette capsule une micropesanteur de 10^{-6} g pendant 4,7 secondes.

tour solaire. Construction en hauteur utilisée pour les observations solaires et au sommet de laquelle est placé un cœlostat* qui recueille la lumière du Soleil, de façon à permettre l'emploi de grandes longueurs focales et à éliminer les perturbations thermiques se produisant au niveau du sol. Dans la tour se trouve un télescope et, en sous-sol, divers instruments de mesure, en particulier des spectrographes.

Tournesol (du nom de la fleur qui se tourne vers le Soleil). Septième satellite français, lancé le 15 avril 1971, depuis Kourou, pour une mission d'astronomie et appelé aussi D2A.
En dépit d'une défaillance de son enregistreur magnétique de bord (à partir du 4 mai 1971), il a pu être exploité pendant 27 mois, totalisant 12 525 révolutions terrestres, 20 331 télécommandes et 10 509 enregistrements de télémesure.

Toutatis. Astéroïde 4179, du type Apollo*, découvert dans la nuit du 4 au 5 janvier 1989 à l'aide du télescope de Schmidt du CERGA par les Français J.L. Heudier, C. Pollas, R. Chemin et A. Maury.
ENCYCL. Il tourne autour du Soleil en 3,57 ans, à une distance moyenne de 376 millions de km. Le 8 décembre 1992, il est passé à 3,6 millions de km seulement de la Terre mais il peut s'en approcher à moins de 900 000 km. Les nombreuses études au radar effectuées à cette occasion ont permis notamment de mesurer avec précision sa période de rotation (10,5 j) et d'établir qu'il est formé de deux blocs rocheux accolés, ayant respectivement 4 km et 2,6 km de diamètre.

Tr A. Abréviation de *Triangulum Australe,* désignant la constellation du Triangle Austral.

trace (d'un satellite). Courbe décrite à la surface de la Terre par la droite joignant le centre de masse d'un satellite au centre de masse de la Terre.

traîne (étoile à la). Étoile bleue, chaude et jeune que l'on observe dans certains amas globulaires, où sa présence semble contredire les lois de l'évolution stellaire.
ENCYCL. Les étoiles à la traîne ont été découvertes en 1953 par A. Sandage, qui leur a donné ce nom car leur évolution semble avoir pris du retard par rapport à celle des autres étoiles des amas globulaires, essentiellement peuplés de vieilles étoiles. Selon une hypothèse proposée en 1964 par F. Hoyle* et W.H. McCrea, indépendamment l'un de l'autre, elles résulteraient de la rencontre de deux étoiles et de la formation d'un système binaire serré. Dans le cas de rencontres frontales, les deux étoiles fusionneraient en mélangeant leur combustible, ce qui leur procurerait un surcroît de longévité. La concentration d'étoiles existant au cœur des amas globulaires rend ce scénario plausible. Diverses observations, en particulier celles effectuées à l'aide du télescope spatial Hubble au centre de l'amas 47 Toucan*, corroborent cette hypothèse.

Traité de l'espace. Désignation usuelle du traité sur les principes régissant les activités des États en matière d'exploration et d'utilisation de l'espace extra-atmosphérique, élaboré dans le cadre du Comité* de l'espace de l'Organisation des Nations unies et ouvert à la signature le 27 janvier 1967, à Londres, Washington et Moscou.
ENCYCL. Ce traité, qui a jeté les bases du droit*

spatial, repose sur des principes juridiques de non-appropriation de l'espace, de liberté d'exploration et d'utilisation et d'égalité d'accès.

ARTICLE PREMIER. L'exploration et l'utilisation de l'espace extra-atmosphérique, y compris la Lune et les autres corps célestes, doivent se faire pour le bien et l'intérêt de tous les pays, quel que soit le stade de leur développement économique ou scientifique ; elles sont l'apanage de l'humanité tout entière.

L'espace extra-atmosphérique, y compris la Lune et les autres corps célestes, peut-être exploré et utilisé librement par tous les Etats sans aucune discrimination, dans des conditions d'égalité et conformément au droit international, toutes les régions des corps célestes devant être librement accessibles.

Les recherches scientifiques sont libres dans l'espace extra-atmosphérique, y compris la Lune et les autres corps célestes, et les États doivent faciliter et encourager la coopération internationale dans ces recherches.

ARTICLE 2. L'espace extra-atmosphérique, y compris la Lune et les autres corps célestes, ne peut faire l'objet d'appropriation nationale par proclamation de souveraineté, ni par voie d'utilisation ou d'occupation, ni par aucun autre moyen.

AUTRES ARTICLES. Parmi les dispositions faisant l'objet des autres articles du traité figurent : l'interdiction d'installer dans l'espace des armes nucléaires ou de destruction massive (articles 3 et 4) ; le statut d'envoyés de l'humanité accordé aux astronautes (article 5) ; l'obligation de restitution des objets spatiaux et de retour des astronautes (articles 5 et 8) ; l'obligation d'informer la communauté scientifique mondiale (article 11); l'accessibilité de toutes les stations et installations, de tout le matériel et de tous les véhicules spatiaux se trouvant sur la Lune ou sur les autres corps célestes (article 12).

trajectographie ni. Opération qui consiste à tracer ou à reconstituer la trajectoire d'un engin spatial.

trajectoire n.f. Courbe décrite par le centre de masse d'un corps en mouvement.

Tranquillité (mer de la). Grande mer lunaire, au contour irrégulier, dans la partie orientale du disque lunaire. C'est dans cette vaste plaine de lave que se sont écrasées les sondes Ranger* 6 et 8, que s'est posée la sonde Surveyor* 5 et qu'ont atterri, le 20 juillet 1969, les premiers astronautes ayant marché sur la Lune, N. Armstrong et E. Aldrin, à bord du module lunaire *Eagle,* lors de la mission Apollo* 11.

transatmosphérique adj. 1. Qui concerne à la fois l'atmosphère et l'espace extra-atmosphérique. **2.** Se dit en particulier d'un véhicule aérospatial doté de moyens de propulsion, notamment aérobie, susceptible d'atteindre l'espace extra-atmosphérique et d'en revenir par ses propres moyens dans les conditions d'un aérodyne.

transfert de masse. Écoulement de matière d'une étoile à une autre, dans un système binaire serré.
— • accrétion, Roche (lobe de)

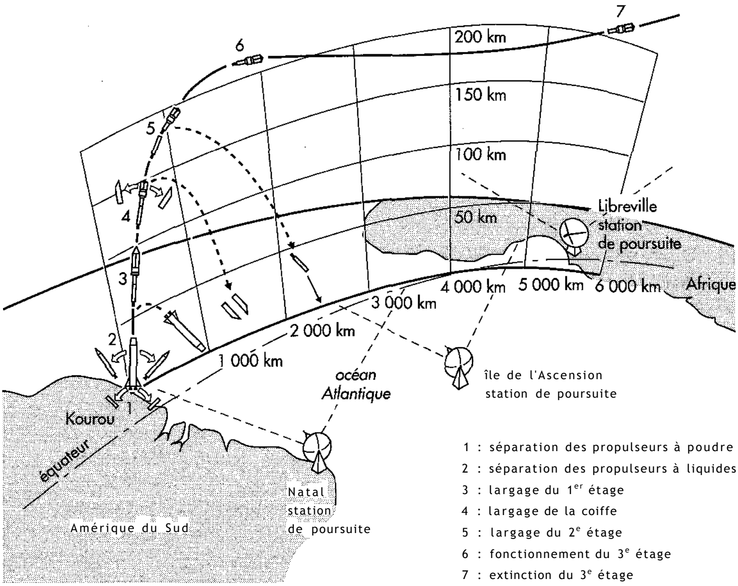
transfert n.m. Pour un véhicule spatial, passage d'une orbite à une autre.

ENCYCL. On appelle *transfert de Hohmann* la manœuvre la plus économique, du point de vue énergétique, permettant de passer, au moyen de deux impulsions, d'une orbite circulaire à une autre orbite circulaire coplanaire, décrite dans le même sens. La trajectoire correspondante (orbite de transfert) est une demi-ellipse képlérienne, tangente, à l'une des extrémités de son grand axe, à l'orbite initiale et, à l'autre extrémité, à l'orbite finale.

Par extension, on désigne aussi sous le nom de transfert de Hohmann tout transfert orbital effectué avec une dépense minimale d'énergie.

La plupart des satellites géostationnaires, après leur lancement, sont d'abord placés sur une orbite de transfert, très allongée, dont le périgée se situe à 200 km environ d'altitude et l'apogée à quelque 36 000 km, c'est-à-dire à l'altitude de l'orbite géostationnaire. Lors d'un de leurs passages à l'apogée de cette orbite provisoire, dite orbite ae transfert géostationnaire (désignée aussi par le sigle anglais GTO), la mise à feu de leur moteur d'apogée leur communique une impulsion suffisante pour les transférer sur une orbite circulaire équatoriale très voi-

Trajectoire d'une fusée Ariane 4 après son lancement



sine de celle sur laquelle ils seront finalement opérationnels.

Transit. Premier système de navigation par satellites.
ENCYCL. Mis en place par les États-Unis à partir de 1960, il a été ouvert aux applications civiles en 1967. Il utilisait une constellation de satellites polaires (à 1 100 km d'altitude) et localisait les mobiles à environ 300 m près. Il a été arrêté en décembre 1996 au profit du système GPS/Navstar.

transneptunien, enne adj. Qui est situé au-delà de la planète Neptune.

transplutonien, enne adj. Qui est situé au-delà de la planète Pluton.

transport spatial. Ensemble des divers moyens permettant l'envoi d'hommes ou d'expériences dans l'espace.

Trapèze. Appellation usuelle du système stellaire multiple 0 d'Orion qui est inclus dans la nébuleuse d'Orion et qui l'éclairé. Quatre étoiles du système, de magnitudes 5,1, 6,7, 6,7 et 8, dessinent un trapèze aisément perceptible avec un petit instrument d'amateur. Un télescope plus puissant révèle la présence de deux autres étoiles, de magnitude 11.

Trèfle à quatre feuilles. Nom donné au quasar H 1413+117, dans le Bouvier, dont la lumière, amplifiée par un effet de lentille gravitationnelle, produit quatre images distinctes, angulairement séparées les unes des autres par moins d'une seconde d'arc.
ENCYCL. L'effet de lentille gravitationnelle est produit par une galaxie 20 fois plus proche, située sur la ligne de visée. L'image de cette galaxie forme avec celles du quasar une figure connue sous le nom de *Croix d'Einstein.*

Tri. Abréviation de *Triangulum,* désignant la constellation du Triangle.

Triangle (en latin *Triangulum, -i).* Petite constellation boréale, entre le Bélier et Andromède, connue depuis l'Antiquité et qui doit son nom à la figure dessinée par ses trois étoiles principales, dont la plus brillante est de magnitude apparente 3.

ENCYCL. Au XVIIe siècle, elle fut séparée de la constellation du Bélier par deux nouvelles constellations, la Mouche et l'Abeille, supprimées par la suite. Elle renferme, à l'ouest, en bordure de la constellation des Poissons, l'une des galaxies du Groupe* local : la galaxie spirale M 33, découverte par Messier en 1764, distante de 2 700 000 années de lumière et perceptible avec de petits instruments.

Triangle Austral (en latin *Triangulum Australe).* Petite constellation australe, au nord de l'Oiseau de Paradis et au sud-est de la brillante étoile a du Centaure, introduite par J. Bayer en 1603 dans son *Uranometria,* vraisemblablement d'après les descriptions des navigateurs. Ses trois principales étoiles, de magnitudes apparentes comprises entre 2 et 3, dessinent un triangle quasiment équilatéral.

Triangulum(-i) Australe(-is). Nom latin de la constellation du Triangle Austral (abrév. *TrA).*

Triangulum(-i). Nom latin de la constellation du Triangle (abrév. *Tri).*

Trifide (nébuleuse). Nébuleuse diffuse M 20 (ou NGC 6514) dans la constellation du Sagittaire.
ENCYCL. C'est un vaste nuage d'hydrogène qui est ionisé par un petit groupe d'étoiles jeunes situées à l'intérieur. Un réseau de bandes de poussières interstellaires sombres la partage en trois lobes principaux, d'où son nom. Sa distance est de 4 600 années de lumière environ.

Triton. Satellite de Neptune (n° I), découvert le 10 octobre 1846 par W. Lassell. Demi-grand axe de son orbite : 354 760 km. Période de révolution sidérale : 5,877 j. Diamètre : 2 706 km. Densité moyenne : 2.
ENCYCL. Il offre la particularité, encore inexpliquée, de graviter dans le sens rétrograde (contrairement à tous les autres satellites importants du système solaire), en décrivant une orbite très inclinée (160°) par rapport au plan équatorial de Neptune.
Cet astre est beaucoup mieux connu depuis son survol, d'une distance de 38 500 km, le 25 août 1989, par la sonde américaine Voyager 2. Sa calotte polaire sud, très brillante, est couverte de givre d'azote et de glace de méthane, Elle est ponctuée de traînées sombres, que l'on interprète comme les traces laissées sur le givre d'azote par des geysers ayant une activité saisonnière. Cette calotte polaire est bordée par une région plus sombre et plus ancienne, comme l'attestent les nombreux cratères d'impacts météoritiques qui la parsèment. Au-delà de l'équateur, vers le nord, on rencontre des terrains plus jeunes dont certains, modelés par des réchauffements et des refroidissements successifs de la glace, présentent l'aspect d'une peau de melon entrecoupée de nombreuses fractures, tandis que d'autres terrains ont été aplanis par un volcanisme de glace très actif. Voyager 2 a aussi révélé l'existence, autour de l'astre, jusqu'à 800 km d'altitude, d'une atmosphère très ténue, composée d'azote avec quelques traces de méthane. La pression atmosphérique près du sol est de 10 microbars seulement. À la surface, Voyager 2 a relevé une température de -236 °C. On présume que Triton présente une structure interne bien différenciée comportant près de 60 % de silicates, concentrés dans un noyau rocheux, et plus de 40 % de glaces (eau, méthane, azote), rassemblées près de la surface. C'est l'astre du système solaire le plus lointain à avoir été approché et photographié par une sonde spatiale.

3 S (sigle de Suite du Système SPOT). Nom provisoire du système appelé à succéder à SPOT 5, au-delà de 2005.

tropique adj. (du grec *tropikos,* de *tropos,* tour). *Année tropique :* intervalle de temps qui s'écoule entre deux passages du Soleil à l'équinoxe de printemps. *(Période de) révolution tropique d'un satellite, d'une planète :* intervalle de temps qui s'écoule entre deux passages du satellite ou de la planète par l'un des points d'intersection des plans de l'équateur et de l'orbite de ce satellite ou de cette planète.

tropique n.m. **1.** Chacun des deux parallèles de la sphère céleste, de déclinaisons (légèrement variables) + et -23° 26', passant par les points solsticiaux. **2.** Chacun des

deux parallèles terrestres de latitudes + et -23° 26' qui délimitent la zone dans laquelle il arrive que le Soleil passe au zénith au cours de l'année. **3.** *Tropique du Cancer :* tropique situé dans l'hémisphère Nord. *Tropique du Capricorne :* tropique situé dans l'hémisphère Sud.

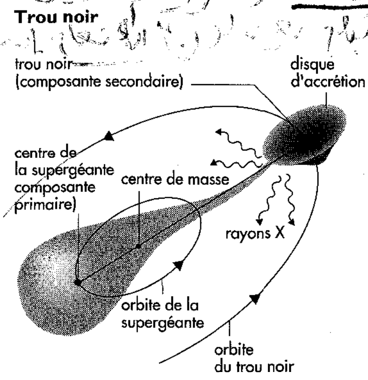
troposphère n.f. Partie inférieure de l'atmosphère terrestre, qui s'étend du sol jusqu'à une altitude variant d'environ 8 km aux pôles à environ 17 km à l'équateur, et dans laquelle la température décroît régulièrement avec l'altitude.
ENCYCL. La troposphère est la zone de l'atmosphère qui abrite la plupart des phénomènes étudiés par la météorologie. Elle présente trois caractères essentiels qui la distinguent des autres régions de l'atmosphère :
- c'est la couche la plus troublée (d'où son nom), agitée sans cesse de mouvements verticaux et horizontaux ;
- le brassage lui assure une composition relativement constante sur toute son épaisseur (elle renferme les trois quarts de la masse atmosphérique, pratiquement tous les corps solides en suspension et toute l'eau sous ses trois états) ;
- la température y décroît régulièrement avec l'altitude, d'environ 0,6° C par 100 m en moyenne, par suite des mouvements verticaux dont elle est le siège.

trou blanc. Astre hypothétique, aux propriétés mathématiques inverses de celles d'un trou noir, qui constituerait un site d'apparition spontanée de matière.

trou coronal. Région étendue de l'atmosphère solaire, généralement située au voisinage des pôles du Soleil, qui émet peu de rayonnements X et ultraviolets, et dont la densité ainsi que la température peuvent s'interpréter comme une absence locale de couronne.
ENCYCL. Associés, semble-t-il, à des champs magnétiques divergents, les trous coronaux sont les régions par lesquelles s'échappe le vent* solaire. Leur durée de vie est de l'ordre de plusieurs mois. Ils peuvent s'étendre parfois des régions polaires jusqu'aux basses latitudes.

trou noir. Région de l'Univers en effondrement gravitationnel irréversible, dont le champ de gravitation est si intense que rien, pas même la lumière, n'en peut sortir.
ENCYCL. La théorie prévoit que le stade ultime de l'évolution des étoiles* les plus massives doit être un trou noir, résultant de la contraction gravitationnelle indéfinie du noyau de l'étoile après que celle-ci a explosé en supernova*. De tels trous noirs stellaires sont de petite taille et sont extrêmement denses ; ainsi, pour une masse de 4 fois la masse du Soleil, leur rayon est de l'ordre de 12 km seulement. Bien que non décelable par son rayonnement, un trou noir peut être détecté indirectement par les effets gravitationnels qu'il exerce sur les astres voisins (→ **accrétion**). Ainsi, l'analyse du mouvement périodique de certaines étoiles a fourni quelques exemples où il s'agirait d'un système binaire dont l'une des composantes serait un trou noir. Le cas le plus convaincant est celui de la source X appelée *Cygnus* X-1.* D'autres candidats sont A0620-00 dans le Scorpion et LMC-X-3 dans le Grand Nuage de Magellan. Par ailleurs, l'hypothèse la mieux fondée pour expliquer la fantastique énergie émise par les galaxies actives et les quasars* suppose la présence, au centre de ces astres, de trous noirs dits *supermassifs,* dont la masse atteindrait jusqu'à 100 millions de fois celle du Soleil. Enfin, certains théoriciens pensent que de très petits trous noirs ont pu se former dans l'Univers primitif, peu après le Big* Bang.

الحمد لله الذي خلق السماوات والأرض
وجعل الظلمات والنور ثم الذين
كفروا بربهم يعدلون



troyen (astéroïde) ou **Troyen.** Astéroïde dont le mouvement est synchrone de celui de Jupiter, en suivant ou en précédant cette planète d'environ 60° sur la même orbite.

ENCYCL. Maintenus en place par l'attraction conjuguée du Soleil et de Jupiter, les astéroïdes troyens se concentrent le long de l'orbite de Jupiter au voisinage de deux points de Lagrange* du système Soleil-Jupiter, situés l'un à 60° en avant de la planète, l'autre à 60° en arrière, et qui forment donc avec le Soleil et Jupiter deux triangles équilatéraux. Ces astéroïdes sont qualifiés de « troyens » parce qu'on leur a donné des noms de héros de la guerre de Troie. Le premier à avoir été découvert, Achille, a été détecté le 22 février 1906 à l'observatoire de Heidelberg. On en connaît environ 70. Ceux qui précèdent Jupiter constituent le « groupe d'Achille », ceux qui le suivent le « groupe de Patrocle ». Leurs dimensions vont de quelques kilomètres à 200 km.

Tsander (Fridrikh Artourovitch), ingénieur russe (1887-1933).
Il était encore étudiant à l'Institut polytechnique de Riga lorsqu'il commença à s'intéresser aux vols spatiaux et se plongea dans la lecture des œuvres de Tsiolkovski. En 1924, il publia, dans un article intitulé *Voyage vers d'autres planètes,* un projet original d'avion-fusée dont l'idée fondamentale résidait dans l'association d'une fusée à un avion qui servait à assurer le départ de la Terre, les parties métalliques de l'avion étant utilisées ensuite comme combustible dans la chambre de combustion du moteur-fusée afin d'accroître la durée de vol de l'engin. En 1930, il contribua à créer, à Moscou, le Groupe pour l'étude de la propulsion par réaction (GIRD*) et construisit son premier moteur-fusée, l'OR-1, fonctionnant à l'air comprimé et à l'essence. En 1932, il publia un important ouvrage théorique intitulé *Problèmes du vol à l'aide de dispositifs à réaction* et acheva la fabrication d'un second moteur-fusée, l'OR-2, à essence et oxygène liquide, qui ne put être essayé qu'après sa mort. Ce pionnier de la fuséologie fut aussi un vulgarisateur, qui donna de nombreuses conférences sur l'astronautique.

Tsih. Étoile 5 de Cassiopée. C'est une variable irrégulière, dont la magnitude apparente varie entre 1,6 et 3 en raison, semble-t-il, d'une fluctuation du volume de son enveloppe gazeuse. Type spectral : B0.

Tsiolkovski (Konstantin Edouardovitch), enseignant russe (Ijevskoïe 1857-Kalouga 1935), l'un des principaux précurseurs et théoriciens de l'astronautique.
Autodidacte, il devient professeur de mathématiques en 1880 à Borovsk, près de Kalouga. Dès 1883, dans un premier ouvrage, *l'Espace libre,* il exprime la conviction que seule la propulsion par réaction permettra de réaliser des vols dans le cosmos.
Dix ans plus tard, c'est lui qui évoque pour la première fois la possibilité de réaliser un satellite artificiel de la Terre.
En 1903, il publie son ouvrage majeur, *Exploration des espaces cosmiques par des engins à réaction,* où se trouvent énoncées pour la première fois les lois du mouvement d'une fusée, et notamment la formule donnant la vitesse finale de la fusée en fonction de la vitesse d'éjection des gaz et de la quantité de propergol consommée. Dans une série de mémoires ultérieurs, il développe ses conceptions relatives aux fusées et aborde tous les grands problèmes posés par les vols humains dans l'espace.
Il a proposé une série d'innovations technologiques qui trouvent à présent leur application dans la fabrication des fusées et des engins spatiaux : emploi du moteur-fusée à propergol liquide et, particulièrement, du moteur à hydrogène et oxygène liquides ; forme particulière des tuyères ; alimentation par pompes des chambres de combustion ; stabilisation en vol par des gyroscopes ; etc. On lui doit aussi les concepts de fusées à étages, de stations orbitales, de colonies spatiales, etc. Il fut élu en 1919 à l'Académie des sciences de l'URSS.

Tsoup (acronyme d'une expression russe signifiant *centre d'opérations en vol).* Centre de contrôle des vols spatiaux russes, créé en 1970 et situé à Kaliningrad, près de Moscou. Il emploie plus de 2 000 personnes.

TSS (sigle de l'angl. *Tethered Satellite System,* système de satellite captif). Système spatial

consistant en un satellite relié à un autre, plus gros, par un câble.
ENCYCL. Les applications potentielles concernent l'étude de l'atmosphère, l'électrodynamique, le transfert orbital, l'exploration planétaire, etc.
Étudié conjointement par la NASA et l'Agence spatiale italienne à partir des années 70, ce concept a donné lieu à deux expérimentations (en août 1992 et en février 1996) depuis la navette spatiale américaine qui ont échoué.

Ts SKB-Progress. Principal constructeur de satellites de Russie, implanté à Samara. Il a déjà construit plus de 900 satellites.

TSTO (sigle de *Two Stages To Orbit,* en orbite avec deux étages). Concept futuriste de lanceur récupérable, à décollage horizontal, qui serait capable de satelliser une charge utile en orbite terrestre basse en n'utilisant que deux étages. **SSTO**

tube d'impesanteur. Équipement destiné à l'expérimentation en impesanteur*. Il consiste en *un* conduit de faible diamètre, de 15 à 30 cm, aménagé dans un bâtiment qui peut être très élevé, par exemple 105 m pour le tube de la NASA, à Huntsville (Alabama), et 50 m pour celui du Centre d'études nucléaires de Grenoble (CENG), mis en service en 1989.

tube image. Synonyme de *intensificateur d'image.*

Tubsat (acronyme de *Technical University of Berlin SATellite*). Famille de petits satellites allemands dont un exemplaire a été mis en orbite, le 7 juillet 1998, depuis un sous-marin russe, en plongée dans la mer de Barents, au moyen d'un missile balistique reconverti en lanceur spatial, ce qui n'avait jamais été réalisé auparavant.

Tue. Abréviation de *Tucana,* désignant la constellation du Toucan.

Tucana (-ae). Nom latin de la constellation du Toucan (abrév. *Tue).*

tuile n.f. Élément de la protection thermique des avions spatiaux fabriqué à partir de fibres de silice. Chaque orbiteur de la navette américaine en compte plus de 30 000, de dimensions et d'épaisseur variables. Densité : de 0,15 à 0,30.

Tully-Fisher (relation de). Relation entre la largeur de la raie d'émission à 21 cm de l'hydrogène neutre interstellaire des galaxies spirales et la magnitude photographique de ces galaxies, étalonnée en 1977 par les astronomes anglais Brent Tully et Rick Fisher. Cette relation est à la base d'une méthode d'évaluation de la distance de ces galaxies.

turbopompe n.f. Dans un moteur-fusée à liquides, dispositif qui sert à pressuriser les ergols entre le réservoir et la chambre de combustion.
ENCYCL. Sa vitesse de rotation est très élevée, par exemple 60 500 tours par minute pour le moteur HM7 du troisième étage d'Ariane (1 à 4).
Le moteur Vulcain d'Ariane 5 possède deux turbopompes, l'une pour l'oxygène (13 500 tours/min), l'autre pour l'hydrogène (34 900 tours/min). Construite par la SEP, la turbopompe hydrogène développe une puissance nominale de 11 900 kW (16 000 ch) pour une masse de 250 kg, soit un rapport puissance/poids quinze fois supérieur à celui d'un moteur de voiture de formule 1.
Les matériaux utilisés (titane, Inconel 718...) ont été choisis pour leur capacité à supporter des modes de fonctionnement sévères et d'importants écarts thermiques (de + 625 °C à - 253 °C) dans un espace restreint.

turbulence (atmosphérique) n.f. Écoulement tourbillonnaire de l'air. Ce phénomène nuit à la qualité des images fournies par un télescope ou par une lunette astronomique.

Tiirksat. Premiers satellites de la Turquie lancés en 1994 et 1996 sur l'orbite géostationnaire pour les télécommunications.

tuyère n.f. Élément d'un moteur-fusée servant à détendre les gaz issus de la chambre

de combustion et à leur faire acquérir une vitesse d'éjection suffisante (plus de 2,5 km/s pour les moteurs Viking d'Ariane 4 et 4,3 km/s, au sol, pour Vulcain) pour obtenir l'effet propulsif.
ENCYCL. C'est la partie visible des propulseurs, à la base des lanceurs. Les tuyères peuvent avoir des dimensions impressionnantes : par exemple, une hauteur de 3,5 m et un diamètre de 3 m pour celle du moteur à propergol solide d'Ariane 5. Lorsque la tuyère est articulée autour d'un ou deux axes, ce qui permet d'orienter l'axe de poussée, on parle de « tuyère orientable ».

TV-Sat. Programme allemand de satellites de radiodiffusion.
ENCYCL. À la suite d'une convention de coopération bilatérale signée le 29 avril 1980 avec la France, le programme TV-Sat a été réalisé sur une base commune avec le programme français TDF*, pour le compte de la Deutsche Bundespost. Deux satellites ont été construits, d'une masse au décollage d'environ 2 t, équipés d'amplificateurs à tubes à ondes progressives de forte puissance (230 W) pour la diffusion directe de programmes de télévision dans 5 canaux différents. Ils ont été lancés par des fusées Ariane, respectivement le 21 novembre 1987 et le 8 août 1989, et mis à poste sur l'orbite géostationnaire par 19° de longitude est. Le premier, TV-Sat 1, n'a pu être exploité, par suite du non-déploiement de l'un des panneaux solaires.

Tycho. Cirque lunaire, au sud de la mer des Nuées. Coordonnées : 11° O., 43° S. Diamètre : 85 km.
ENCYCL. C'est l'un des cirques lunaires les plus célèbres. Il est bordé de remparts en terrasses de 4,5 km de haut et comporte un massif montagneux central qui s'élève à 2 300 m au-dessus du fond du cratère. Les traînées radiales d'éjecta (ou rayons) qui en émanent sont particulièrement brillantes et étendues, ce qui témoigne de sa jeunesse : son âge est évalué à 250 millions d'années.

type spectral. Classification attribuée à une étoile d'après l'aspect de son spectre*.

U

U Ma. Abréviation de *Ursa Major* désignant la constellation de la Grande Ourse.

ua ou **UA.** Symbole de l'unité* astronomique.

UAI. Sigle de *Union* Astronomique Internationale.*

UARS (sigle de l'anglais *Upper Atmospheric Research Satellite).* Satellite américain d'aéronomie.
ENCYCL. Premier satellite lancé dans le cadre de l'ambitieux programme de la NASA « Mission vers la planète Terre », qui représente la contribution américaine au Programme* international géosphère-biosphère, il a été emporté dans l'espace par l'orbiteur *Discovery* lors du 43e vol de la navette spatiale et satellisé le 15 septembre 1991, à 600 km environ d'altitude, sur une orbite circulaire, inclinée de 57° par rapport à l'équateur. On en attend les premières données complètes sur la chimie, la dynamique et le bilan énergétique des couches de l'atmosphère comprises entre 20 km et 80 km environ d'altitude (stratosphère et mésosphère) et certaines informations sur la couche supérieure (thermosphère).
Pour remplir cet objectif, il comporte une charge utile de quelque 2,5 t (pour une masse totale de 6,5 t), constituée de neuf instruments : quatre pour l'étude de la concentration de différents constituants chimiques et l'obtention de profils verticaux de température ; deux pour la cartographie des vents (par interférométrie utilisant l'effet Doppler) ; et trois pour la mesure du flux de rayonnement solaire incident. Un dixième instrument, indépendant des neuf précédents, est un radiomètre destiné à mesurer la constante* solaire, un paramètre important pour l'étude du climat de la Terre.
Un programme international concerté de mesures de validation et de corrélation complémentaires de celles effectuées par le satellite, à l'aide d'instruments au sol ou emportés par des ballons stratosphériques et des avions, doit également être réalisé.
L'un des principaux enjeux de toutes ces recherches est une meilleure appréciation des effets des activités humaines sur l'atmosphère, en particulier sur la couche d'ozone.

UBV (photométrie). Système photométrique, introduit vers 1950 parles Américains H.L. Johnson et W.W. Morgan, qui se fonde sur la mesure des magnitudes stellaires dans trois bandes spectrales désignées par U (ultraviolet), B (bleu) et V (visible), centrées respectivement à 350, 430 et 550 nanomètres de longueur d'onde. Les quantités U - B et B - V sont des indices de couleur d'où se déduisent certaines propriétés physiques des étoiles ou des groupes d'étoiles observés. En 1965, le système a été étendu à l'infrarouge, par l'introduction de nouvelles bandes spectrales.

UDMH (sigle de l'angl. *Unsymmetrical DiMethylHydrazine,* diméthylhydrazine asymétrique ou dissymétrique). Ergol stockable de formule chimique $(CH_3)_2N\text{-}NH_2$ utilisé comme combustible dans les moteurs des étages inférieurs de nombreux lanceurs, le plus souvent associé au peroxyde d'azote ou à l'oxygène (l'impulsion spécifique du

propergol dans le vide est alors comprise entre 280 et 300 s).

ENCYCL. Température d'ébullition (sous pression normale) : 63,1 °C. Masse volumique : 785 kg/m³. C'est un liquide incolore, toxique, à l'odeur d'urine de souris.

ufologie (de UFO, abréviation de l'angl. *Unidentified Flying Object*) n.f. Étude des objets volants et phénomènes aérospatiaux non identifiés.

UH 25. Ergol stockable composé d'UDMH (75 %) et d'hydrate d'hydrazine (25 %). On l'utilise comme combustible pour les moteurs des deux premiers étages d'Ariane (versions 2, 3 et 4) et ceux des propulseurs d'appoint à liquides.

Uhuru (mot swahili signifiant *liberté).* Nom donné, après sa mise en orbite, au satellite américain d'astronomie SAS 1, alias Explorer 42, parce que son lancement, de la plateforme italienne San Marco, au large du Kenya, intervint le 12 décembre 1970, jour du septième anniversaire de l'indépendance du Kenya.

ENCYCL. Il effectua la première cartographie des sources de rayonnement X sur l'ensemble du ciel, recensant 161 sources, dont il aida, par ailleurs, à préciser la nature. On lui doit aussi la mise en évidence des premières binaires X.

ultraviolet (astronomie dans l'). Branche de l'astrophysique qui a pour objet l'étude des sources célestes de rayonnement ultraviolet.

ENCYCL. Le domaine ultraviolet s'étend audelà du domaine visible, à l'opposé de l'infrarouge, c'est-à-dire du côté des faibles longueurs d'onde, de 320 nm à 10 nm environ. On distingue habituellement le proche ultraviolet (320 à 200 nm), l'ultraviolet lointain (200 à 100 nm) et l'extrême ultraviolet (EUV, de 100 à 10 nm). L'ultraviolet le plus extrême, à la frontière du rayonnement X (moins de 60 nm) est aussi désigné parXUV. Le rayonnement ultraviolet est encore plus fortement absorbé que l'infrarouge par l'atmosphère terrestre, par suite de la présence d'ozone et d'oxygène moléculaire. Seul le proche ultraviolet parvient jusqu'au sol. Aussi le développement de l'astronomie dans l'ultraviolet reste-t-il essentiellement tributaire d'instruments embarqués sur des ballons, des fusées-sondes ou des satellites. L'instrumentation utilisée ne diffère pas fondamentalement de celle qui est employée dans le domaine visible. Les systèmes optiques sont réalisés en matériaux transparents à l'ultraviolet (quartz jusqu'à 1 800 Å, fluorure de calcium ou de lithium jusqu'à 1 100 A, etc.), les miroirs sont recouverts d'aluminium et l'on fait appel à des émulsions photographiques sensibilisées à l'ultraviolet. L'analyse des spectres est assurée par des spectrophotomètres opérant généralement entre 100 et 320 nm environ (il est très difficile, en effet, d'observer des sources lointaines d'ultraviolet en dessous de 91,2 nm, leur rayonnement étant alors absorbé par l'hydrogène interstellaire).

INTÉRÊT DES OBSERVATIONS. C'est dans l'ultraviolet que les étoiles chaudes émettent l'essentiel de leur énergie. D'autre part, de nombreuses raies de résonance du spectre d'atomes abondants dans l'Univers (hydrogène, hélium, oxygène, carbone, azote, etc.) sont émises dans l'ultraviolet : l'analyse de ces raies contribue à une meilleure connaissance de la composition chimique des étoiles, et celle-ci, corrélée à leur âge, permet de retracer l'évolution de la composition chimique de la Galaxie en même temps que d'obtenir des informations capitales sur les processus de formation des éléments au sein des étoiles. D'une façon très générale, les régions de l'Univers étudiées de façon privilégiée dans l'ultraviolet sont des milieux chauds (de 10 000 K à 1 000 000 de K) et/ou dilués.

HISTORIQUE. La première observation astronomique spatiale dans l'ultraviolet a été effectuée en octobre 1946, depuis une fuséesonde qui s'éleva à 80 km : les photographies obtenues correspondaient à une longueur d'onde de 220 nm et concernaient le Soleil. En 1955 a été observée, dans les constellations des Voiles et de la Poupe, la première source ultraviolette céleste non solaire.

C'est en 1968 qu'a été lancé, aux États-Unis, le premier satellite d'observation astronomique dans l'ultraviolet, OAO 2, auquel a succédé en 1973 OAO 3, rebaptisé Coperni-

eus après sa mise en orbite. OAO 3 était un engin très perfectionné, que l'on a pu pointer dans le ciel au centième de seconde d'arc près. Il a fonctionné plus de huit ans, et sa mission a été arrêtée pour des raisons financières. Cependant, ce n'est qu'à partir de 1978 que l'on a pu disposer d'un véritable observatoire spatial dans l'ultraviolet : IUE*. Celui-ci a battu tous les records de longévité, fonctionnant encore en 1995.

Ulug Beg (Muhammed Turgay). Savant et souverain d'Asie centrale (Soltaniyyè 1394 - Samarkand 1449). Il aménagea à Samarkand, en 1424, un observatoire doté notamment d'un immense sextant méridien (40 m de rayon), grâce auquel il effectua des observations astronomiques extrêmement précises pour son époque : il put ainsi dresser des tables du Soleil et des planètes et établir un catalogue de 1 018 étoiles, donnant pour la première fois leurs coordonnées célestes à la minute près.

Ulysse. Sonde spatiale européenne chargée d'étudier le vent solaire et le milieu interplanétaire hors du plan de l'écliptique, et de survoler, pour la première fois, les pôles du Soleil.

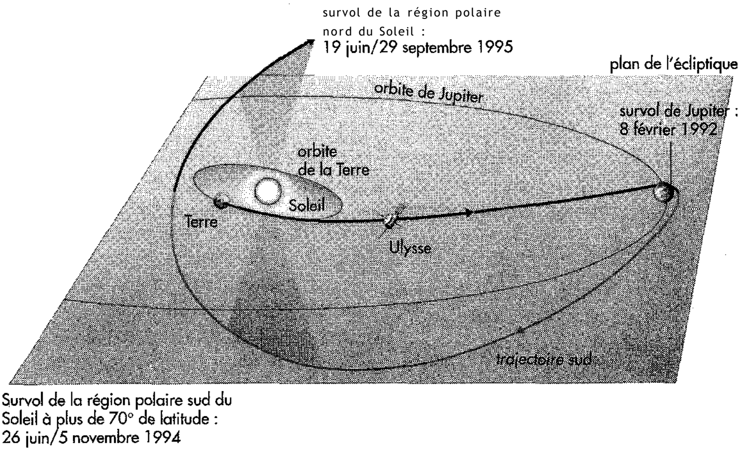
ENCYCL. Lancée le 6 octobre 1990 par la navette américaine, elle s'est d'abord dirigée vers Jupiter. En février 1992, l'assistance gravitationnelle de cette planète lui a permis de sortir du plan de l'écliptique et de revenir vers le Soleil pour survoler son pôle Sud, puis son pôle Nord. Sa charge utile (55 kg) comporte neuf appareils pour l'étude du vent solaire, du champ magnétique autour du Soleil, des poussières interplanétaires et des rayons cosmiques.

Le 13 septembre 1994, la sonde est passée par son point de latitude sud maximale (80,6°), à 300 millions de km du Soleil. Ses mesures ont révélé que le vent solaire au voisinage du pôle Sud du Soleil est deux fois plus rapide qu'à l'équateur, que les rayons cosmiques y sont beaucoup moins nombreux qu'on ne le pensait et que le pôle magnétique Sud du Soleil ne peut être localisé de façon précise (champ magnétique radial, uniforme et turbulent). Des résultats analogues ont été obtenus en 1995 lors du survol du pôle Nord (passage le 31 juillet à la latitude maximale, soit 80,2° N.).

On doit également à Ulysse la première détection directe sans équivoque de grains de poussière interstellaire, d'ions lourds interstellaires (azote, oxygène, néon) et d'atomes neutres d'hélium d'origine interstellaire, ainsi qu'une mesure précise de la composition isotopique des particules lourdes du rayonnement cosmique.

Umbriel. Satellite d'Uranus (n° XI), découvert en 1851 par l'Anglais W. Lassell. Demi-grand axe de son orbite : 266 000 km. Pé-

Trajectoire de la sonde **Ulysse**



riode de révolution sidérale : 4,144 j. Diamètre : 1 170 km. Densité moyenne : 1 ' 4

ENCYCL. Sa surface a été révélée en 1986 par la sonde américaine Voyager 2. Elle apparaît très ancienne : on y voit de nombreux grands cratères d'impacts (de 100 à 200 km de diamètre), mais peu de traces de modification du relief survenues depuis la fin de la période de cratérisation. Le satellite Ariel*, de taille comparable, qui gravite sur une orbite voisine, témoigne d'une activité tectonique beaucoup plus intense et cette différence entre les deux astres reste inexpliquée. Avec un pouvoir réfléchissant de 19 % seulement, Umbriel est, de tous les satellites d'Uranus, celui dont la surface est la plus sombre.

UMi. Abréviation de *Ursa Minor* désignant la constellation de la Petite Ourse.

Union astronomique internationale (UAI). Organisation internationale, fondée en 1919, qui constitue la plus haute instance mondiale dans le domaine de l'astronomie.
ENCYCL. Cette organisation compte plus de 7 000 membres, issus de plus de 50 États. C'est lors de ses assemblées générales, qui se tiennent tous les trois ans, que sont prises les décisions intéressant la communauté astronomique internationale : définition des constantes, adoption de la nomenclature des formations du relief des astres du système solaire, dénomination des astres du système solaire récemment découverts, etc.
SECRÉTARIAT : 61, avenue de l'Observatoire, 75014Paris.

unité astronomique. Unité de distance* égale au demi-grand axe de l'orbite de la Terre autour du Soleil, et qui représente 149 597 870 km.
ENCYCL. On l'utilise pour exprimer les distances à l'intérieur du système solaire. Il n'existe pas de symbole international pour la désigner : on emploie ua (ou UA) en français et *AU* en anglais.

United States Naval Observatory. Observatoire national des États-Unis, dont le siège est à Washington, qui constitue l'une des principales institutions mondiales dans le domaine de l'astrométrie, du calcul des éphémérides et de la mesure du temps.
ENCYCL. Fondé en 1830, il a reçu son nom actuel en 1844. Son principal instrument, à Washington, est une lunette de 66 cm d'ouverture, mise en service en 1873, avec laquelle Asaph Hall (1829-1907) découvrit en 187/ les deux satellites de la planète Mars. A Flagstaff (Arizona) a été inauguré en 1963 un télescope astrométrique de 1,55 m de diamètre, à l'aide duquel James Christy a découvert en 1978 le satellite de la planète Pluton, Charon*.

Univers n.m. Ensemble de tout ce qui existe (les astres et le milieu qui les sépare).
ENCYCL. L'Univers, à grande échelle, se révèle peuplé de galaxies*. Celles-ci sont rarement isolées, mais plutôt rassemblées en groupes, amas* ou superamas. L'étude de leur distribution spatiale semble même indiquer l'existence d'hyperamas (amas de superamas) s'étendant sur des centaines de millions d'années de lumière.
D'une façon générale, amas et superamas semblent se concentrer principalement sur les facettes et, tout particulièrement, le long des intersections d'immenses cellules polyédriques à l'intérieur desquelles les galaxies sont rares ou absentes, ainsi que l'ont noté les premiers, en 1975, Jan Einasto et ses collaborateurs, à l'observatoire de Tartu, en Estonie. À grande échelle, la structure de l'Univers serait donc, en quelque sorte, comparable à celle d'une éponge ou d'un fromage de gruyère ou encore au volume d'eau savonneuse tel qu'il se répartit dans une grappe de bulles de savon. L'origine de cette étonnante structure reste encore très discutée ; elle pourrait être liée à l'apparition de fluctuations de densité dans l'Univers primordial.

ÉVOLUTION PUTURE. De nombreuses observations ont permis d'établir que l'Univers est en expansion* et confortent l'hypothèse qu'il est en évolution depuis une explosion primordiale (Big* Bang). Si son expansion actuelle se poursuit indéfiniment, l'Univers, à force de se dilater, deviendra progressivement de plus en plus vide, car toutes les galaxies continueront sans trêve à s'éloigner les unes des autres. Simultanément, l'espace deviendra de plus en plus froid. Avec le

temps, les étoiles finiront par s'éteindre et leurs cadavres s'accumuleront dans le cosmos. L'Univers s'enfoncera peu à peu dans une profonde léthargie. Si, au contraire, l'Univers cesse un jour de se dilater pour se contracter, en s'effondrant progressivement sur lui-même, il se réchauffera jusqu'à atteindre des températures colossales qui détruiront tout, jusqu'aux noyaux des atomes : ce sera le « Big Crunch ». Ce destin est scellé parla densité moyenne de masse dans l'Univers. Les estimations fondées sur l'étude de la luminosité des galaxies conduisent actuellement à considérer que les masses additionnées de tous les astres visibles confèrent à l'Univers une densité inférieure à la valeur critique. L'Univers serait donc appelé à connaître une expansion perpétuelle. Cependant, l'analyse dynamique des galaxies et des amas de galaxies suggère que ces systèmes sont beaucoup plus massifs que leur contenu visible ne le laisse prévoir (-• **matière noire).** La solution de cette énigme de la masse « cachée » conditionne donc la réponse au problème du destin de l'Univers.

Université internationale de l'espace. Dénomination française de l'International* Space University.

Unuk (d'une locution arabe signifiant *cou du serpent,* par allusion à sa position et à la représentation ancienne de la constellation). Étoile a du Serpent. Magnitude apparente visuelle : 2,6. Type spectral : KO. Distance : 72 années de lumière.

uranométrie. n.f. Appellation ancienne de l'astronomie de position (ou astrométrie).

Uranus. Planète du système solaire située au-delà de Saturne.
ENCYCL. Inconnue des Anciens, Uranus n'a été découverte qu'en 1781, par W. Herschel* mais elle avait été observée auparavant à 22 reprises au moins et considérée comme une étoile. Bien qu'appartenant à la famille des planètes géantes, elle est sensiblement plus petite et plus dense que Jupiter et Saturne. On la connaît beaucoup mieux depuis

CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES D'URANUS	
diamètre équatorial	51 118 km (4 fois celui de la Terre)
diamètre polaire	49 947 km
aplatissement	0,023
masse par rapport à celle de la Terre	14,53
densité moyenne	1,32
accélération de la pesanteur à l'équateur	0,89 fois celle de la Terre
vitesse de libération	21,3 km/s
période de rotation sidérale	17,2 h
inclinaison de l'équateur sur l'orbite	97,86°
albédo	046

CARACTÉRISTIQUES ORBITALES D'URANUS	
demi-grand axe de l'orbite	2 875 000 000 km, soit 19,218 1 ua
distance maximale au Soleil	3 008 000 000 km
distance minimale au Soleil	2 742 000 000 km
excentricité	0,047
inclinaison sur l'écliptique	0° 46'
période de révolution sidérale	83,747 j
vitesse orbitale moyenne	6,83 km/s
période de révolution synodique	1 an 4,6 j
distance maximale à la Terre	3 150 000 000 km
distance minimale à la Terre	2 600 000 000 km

survol par la sonde américaine Voyager 2 en 1986. Elle se présente comme une boule bleuâtre sur laquelle on distingue fort peu de détails. Un voile de brume dissimule aux regards la plupart des nuages de son atmosphère, contrairement à ce que l'on observe sur Jupiter et sur Saturne. Son atmosphère, à base d'hydrogène, renferme environ 12 % d'hélium (ainsi qu'une faible proportion de méthane) et offre donc une composition très proche de celle attribuée à la nébuleuse qui engendra le système solaire. Elle tourne sur elle-même en 17,2 h, période déterminée grâce à l'étude des fluctuations de l'intensité du champ magnétique. La température y est de l'ordre de -215 °C. Les régions les moins froides se situent vers 30° de latitude. Curieusement, la température est identique à l'équateur et au pôle tourné vers le Soleil, mais légèrement supérieure au pôle plongé dans la nuit. À l'instar de la Terre, de Jupiter et de Saturne, Uranus dispose d'un champ magnétique dipolaire : son comportement magnétique s'apparente à celui d'un barreau aimanté. Mais, cas unique dans le système solaire, l'axe magnétique est très fortement incliné (55°) par rapport à l'axe de rotation de la planète, alors que cette inclinaison ne dépasse pas 13° dans le cas de Jupiter et 11,5° dans le cas de la Terre. Pour l'instant, les théoriciens se perdent en conjectures sur la cause de cette particularité. Peut-être est-elle liée à une autre bizarrerie d'Uranus, celle-là déjà connue depuis longtemps : la planète tourne sur elle-même presque couchée sur le plan de son orbite. Cette anomalie remonterait à la jeunesse du système solaire. A l'époque où celui-ci, sillonné en tous sens par des corps erratiques de toutes dimensions, s'apparentait à un gigantesque manège d'autos tamponneuses. Uranus aurait été alors violemment heurtée par un corps de la taille de la Terre et, sous l'effet du choc, son axe des pôles aurait brutalement basculé.

SATELLITES ET ANNEAUX. Un imposant cortège de satellites accompagne Uranus. Les cinq plus gros ont été découverts de la Terre : Miranda", Ariel*, Umbriel*, Titania* et Obéron*, du plus proche de la planète au plus éloigné. Onze autres, dont les diamètres vont de 40 à 170 km, ont été identifiés sur des photographies prises par Voyager 2. Enfin, deux, de 60 et 120 km de diamètre respectivement, ont été découverts en 1997 sur des clichés pris à l'aide du télescope de 5 m de l'observatoire du mont Palomar, en Californie ; ce sont vraisemblablement d'anciens astéroïdes qui ont été capturés par l'attraction gravitationnelle d'Uranus. À des distances du centre d'Uranus comprises entre 42 000 et 51 000 km ont été décelés, en 1977, depuis la Terre, neuf anneaux de matière, elliptiques, très fins (20 à 30 m d'épaisseur) et très étroits (1 à 10 km de large, sauf pour le plus extérieur, dont la largeur varie de 20 à 100 km). Voyager 2 les a photographiés et étudiés et a permis d'en découvrir deux autres, dont un beaucoup plus large (2 500 km) et diffus. Tous ces anneaux sont très sombres, comme la surface des satellites, et constitués sans doute de matière carbonée.

Ursides. Essaim de météorites, et météores associés observables autour du 22 décembre, dont le radiant se situe dans la constellation de la Petite Ourse. Cet essaim provient de la comète périodique Tuttle.

US Naval Observatory **United**

usine spatiale (ou **orbitale).** Structure satellisée en orbite terrestre où seraient élaborées, en quantité industrielle, des substances spécifiques : alliages, semi-conducteurs, médicaments, etc. Aucune réalisation de ce type n'a encore vu le jour.

UT (abréviation de *Universal Time).* Abréviation internationale de Temps* Universel. On emploie souvent, à tort, l'abréviation GMT*, **-•temps**

UTC (sigle de *Universal Time Coordinated).* Abréviation internationale de temps universel coordonné. **temps**

V

VI, V2 (initiales de l'allemand *Vergeltungswaffen,* armes de représailles) n.m. Systèmes d'armes à base de missiles sol-sol à long rayon d'action, utilisés par les Allemands en 1944 et 1945.

ENCYCL. Les VI étaient de petits avions sans pilote mus par un pulsoréacteur et porteurs de 500 kg d'explosif. Longs de près de 8 m, d'un poids de 5 t, les VI étaient lancés sur des rampes de 45 m de long inclinées à 10 %, stabilisés par gyroscopes, et mis en piqué sur l'objectif grâce à un système de compte-tours à hélice réglé avant le départ et qui, stoppant l'arrivée d'essence et la propulsion, provoquait la chute de l'engin. Un contact électrique déclenchait, lors de l'arrivée au sol, l'explosion de la bombe transportée par l'appareil. La portée du VI était de l'ordre de 250 km. Sa vitesse relativement réduite (650 km/h) et sa faible altitude de vol (800 à 900 m) en faisaient une proie facile pour l'aviation de chasse et la DCA, si bien que 23 % seulement des VI, lancés à partir de soixante bases de départ, atteignirent Londres et 15 % Anvers.

Les V2, plus redoutables que les VI, furent les véritables précurseurs des missiles balistiques et des lanceurs spatiaux. Ils furent mis au point par von Braun et son équipe à Peenemiinde. D'un poids de 13 t, longs de 14 m et d'un diamètre de 1,70 m, ils étaient capables d'emporter une tonne d'explosif à une distance de 350 km. La propulsion, réalisée par un moteur-fusée, utilisait comme ergols l'alcool et l'oxygène liquide. L'alimentation de la chambre de combustion de la tuyère unique en alcool et oxygène liquide était réalisée par des turbopompes, et la température de combustion était voisine de 2 700 °C. Pour pouvoir supporter une telle température, la tuyère était refroidie par une circulation d'alcool. La poussée du dispositif de propulsion ainsi constitué était de l'ordre de 260 kN. Le guidage du V2 était encore rudimentaire ; l'engin quittait le sol verticalement, atteignait une altitude de 30 km puis s'inclinait à 40° dans la direction voulue. Cette inclinaison était réalisée par un système de pilotage comprenant des volets de graphite placés dans le jet des gaz propulsifs s'échappant de la tuyère.

Une fois parvenu à l'altitude de 50 km (une minute après le départ), sa vitesse atteignait environ 5 000 km/h. À ce moment, la combustion était coupée du sol par radio, et le projectile continuait son mouvement d'ascension jusqu'à une altitude de 100 à 120 km pour retomber ensuite en chute libre. Quelques exemplaires de V2 furent dotés d'un système de guidage inertiel constitué de gyroscopes et d'accéléromètres. Ce système entièrement autonome devait permettre de remédier à la sensibilité au brouillage ennemi du système radio.

vaisseau spatial. Appareil, le plus souvent habité, destiné aux vols dans l'espace.

Valier (Max), inventeur allemand (Bozen, Tyrol, 1895-Berlin 1930).

Enthousiasmé par la perspective des voyages spatiaux que lui révéla un ouvrage de H. Oberth, il entra en correspondance avec l'auteur, puis participa, le 5 juillet 1927, à Breslau, à la création d'une société savante, la VFR (*Verein für Raumschiffahrt,* association pour la navigation dans l'espace), dont l'un des objectifs était la construction de fusées.

Une intense activité lui permit de mettre au point plusieurs moteurs-fusées (à poudre, puis à liquides) destinés à la propulsion de véhicules terrestres (automobiles, traîneaux...) qu'il pilota lui-même. Il trouva la mort le 17 mai 1930, lors de l'explosion d'un nouveau moteur, au cours d'un essai, dans les ateliers de l'usine Heylandt.

Vallès Marineris. Système complexe de cañons, dans la région équatoriale de la planète Mars.
ENCYCL. Cette zone de fracture de l'écorce martienne s'étend, selon une direction approximativement ouestest, sur 5 000 km environ de long, 120 km de largeur moyenne et jusqu'à 6 km de profondeur, au sud de l'équateur, entre 30° et 110° de longitude ouest. Son extrémité occidentale est une région striée de fossés d'effondrement, *Noctis Labyrinthus.* Sa partie principale consiste en plusieurs cañons parallèles, aux bords escarpés. À l'est, elle s'achève par des terrains chaotiques*, *Capri Ckasma.* On pense que cet immense système de failles s'est formé à la suite du soulèvement de la région volcanique Tharsis*.

vallis n.f. (mot latin ; pl. *valks).* Vallée large et sinueuse, dans la nomenclature internationale du relief des surfaces planétaires.

Van Allen (James Alfred), physicien américain (Mount Pleasant, Iowa, 1914).
Il a particulièrement étudié les propriétés physiques et biologiques de la haute atmosphère, et il a découvert, en 1958, grâce aux mesures des premiers satellites artificiels américains, l'existence, autour de la Terre, de ceintures* de rayonnement auxquelles on a donné son nom.

Van Allen (ceintures de) ceintures de rayonnement

Vandenberg. Localité des États-Unis (Californie), près de la côte du Pacifique, à mi-distance entre Los Angeles et San Francisco, à proximité de laquelle se trouve une base de l'US Air Force (coordonnées géographiques : 34,7° N., 120,6° O.; superficie: 40 000 ha environ) équipée pour le lancement de missiles et d'engins spatiaux, et qui constitue l'un des deux principaux centres de lancements spatiaux des États-Unis, l'autre étant le centre spatial J.F. Kennedy*, en Floride.
ENCYCL. Autorisant, compte tenu de sa situation géographique, des lancements vers le sud, cette base est particulièrement bien adaptée au lancement de satellites en orbite polaire. Elle est utilisée pour le lancement de la plupart des satellites militaires américains mais sert également au lancement de satellites civils : c'est de là, notamment, que sont partis le satellite français FR 1 (en 1965) et les premiers satellites européens (à partir de 1968). Le premier lancement spatial effectué de Vandenberg fut, le 2 février 1959, celui de Discoverer 1, premier satellite de reconnaissance des États-Unis et premier engin spatial placé sur une orbite polaire. À présent, la base est équipée aussi pour le décollage et l'atterrissage des orbiteurs de la navette spatiale.

Vanguard. Premier programme spatial américain.
ENCYCL. Annoncé officiellement le 9 septembre 1955, il avait pour objectif la mise sur orbite autour de la Terre de petits satellites artificiels, dans le cadre de l'Année géophysique internationale, à partir du second semestre de 1957, une fusée civile spéciale étant développée à cet effet. Ce programme prit du retard, et Vanguard 1, surnommé *Pamplemousse* en raison de sa taille et de sa masse réduites (16 cm de diamètre ; 1,5 kg), ne fut que le deuxième satellite artificiel américain : il fut lancé le 17 mars 1958. Cet engin, complexe pour l'époque (ce fut le premier satellite équipé de cellules solaires), fonctionna pendant sept ans. L'étude très précise de son orbite conduisit à la découverte des irrégularités de forme du globe terrestre.

variable (étoile). Étoile dont l'éclat apparent varie au cours du temps. On dit aussi : une *variable.*
ENCYCL. La première étoile variable qui ait été scientifiquement étudiée est l'éclatante supernova apparue en 1572, qui fut soigneusement observée par Tycho Brahe. Puis, en 1596, Fabricius remarqua les étranges appa-

ritions et disparitions de l'étoile *Ceti* qui lui valent le nom, conservé depuis, *de Mira Ceti.* On connaît à présent plus de 30 000 étoiles variables. Fondamentalement, on distingue plusieurs catégories d'étoiles variables d'après la nature du phénomène responsable de leurs variations d'éclat. Au sein de ces catégories se rencontrent des types particuliers que l'on désigne du nom d'une étoile prototype. Ainsi, les variables dites *éruptives* et les variables *cataclysmiques* se caractérisent par leurs variations d'éclat imprévisibles. Il en existe une grande variété, depuis les étoiles en formation *T Tauri* jusqu'aux *supernovae**, qui connaissent une fin explosive, en passant par ce qu'on appelle les *étoiles à sursauts* et les *novae**. Les variables dites *puisantes* sont des étoiles qui se dilatent et se contractent alternativement par suite d'instabilités internes : cette catégorie inclut les céphéides*, les étoiles *RR Lyrae* et les variables du type *Mira**. Une autre catégorie importante est celle des binaires à éclipses, dont les variations d'éclat résultent du passage périodique d'une étoile devant une autre (cas d'Algol*). Certaines étoiles enfin, comme celles du type *BYDraconis,* changent d'éclat au cours de leur rotation parce que leur surface n'est pas uniformément brillante.

NOMENCLATURE. La nomenclature des étoiles variables s'inspire très largement de celle introduite au XIXe siècle par F. Argelander*. Dans chaque constellation, les neuf variables les plus brillantes sont désignées par les lettres R à Z suivies du génitif du nom latin de la constellation. Pour les variables suivantes, on utilise des paires de lettres : RR à RZ, SS à SZ, etc., jusqu'à ZZ. Puis on emploie les paires de lettres AA à AZ, BB à BZ, etc., ce qui porte à 334 le nombre de désignations possibles. Au-delà de ce nombre, les variables d'une constellation donnée sont désignées seulement par V335, V336, etc.

ASTRONOMIE AMATEUR. L'observation des étoiles variables constitue l'un des domaines de l'astronomie où l'amateur peut effectuer des travaux utiles. Pour un amateur, étudier une étoile variable consiste à estimer sa magnitude par une méthode d'interpolation visuelle. La multiplication des estimations au cours du temps permet de tracer la courbe de lumière de l'étoile. Plusieurs associations regroupent les observateurs d'étoiles variables et centralisent leurs travaux.

- AAVSO, AFOEV, GEOS

vastitas n.f. (mot latin ; pl. *vastitates).* Vaste plaine basse, dans la nomenclature internationale du relief des surfaces planétaires.

Vaucouleurs (Gérard de), astrophysicien américain d'origine française (Paris 1918-Austin, Texas, 1995).

Il s'est d'abord distingué comme astronome amateur par ses observations des planètes et le perfectionnement qu'il a apporté^ aux techniques de l'astrophotographie. Établi aux États-Unis en 1957, il est devenu en 1960 professeur d'astronomie à l'université du Texas, à Austin. On lui doit notamment une classification multidimensionnelle des galaxies, des travaux portant sur l'étalonnage des échelles de distances extragalactiques, la détermination de la valeur de la constante de Hubble* et la mise en évidence du Superamas* local ainsi que de divers autres superamas plus lointains.

Vega (abréviation de *Venera-Galley,* signifiant en russe Vénus-Halley). Nom de deux sondes soviétiques ayant permis l'étude de Vénus et de la comète de Halley.

ENCYCL. Lancées en décembre 1984, pesant environ 4 t, elles sont d'abord passées près de Vénus, en juin 1985. Chacune a alors éjecté un module d'atterrissage de 750 kg qui est descendu se poser sur la planète après avoir largué dans l'atmosphère vénusienne un ballon-sonde qui a dérivé pendant 46 h environ à une cinquantaine de kilomètres d'altitude en mesurant divers paramètres (pression, température, vitesse du vent, etc.). Elles ont ensuite poursuivi leur route en direction de la comète de Halley. Munies d'une plate-forme orientable stabilisée selon trois axes et porteuse de 11 instruments scientifiques (masse totale : 144 kg), elles ont survolé le noyau de la comète à une distance de 9 000 et 8 000 km respectivement, les 6 et 9 mars 1986, aidant à préciser les caractéristiques physico-chimiques de ce noyau et de la chevelure qui l'entourait alors et préparant le survol de la comète par la sonde européenne Giotto*.

Véga. Nom d'origine arabe donné à l'étoile a de la Lyre*. Magnitude apparente visuelle : 0 (c'est l'étoile la plus brillante du ciel boréal après Arcturus). Type spectral : A0. Distance : 25,3 al. En 1983, le satellite IRAS* a détecté autour de cette étoile un disque de poussières et de gaz.

Véga. Projet de lanceur léger, complémentaire d'Ariane, étudié par l'ESA. Haut de 26,5 m, composé de trois étages à poudre, il pourrait - depuis Kourou - satelliser une charge utile d'une tonne en orbite polaire, à 700 km d'altitude.

Végétation. Radiomètre imageur installé sur SPOT 4 (1998) pour permettre une observation quasi journalière du couvert végétal de la planète (champ total : 2 250 km, résolution : 1 km). Cet instrument a été financé par l'Union européenne, la Belgique, l'Italie, la Suède et la France.

véhicule spatial. Engin spatial destiné principalement au transport d'une charge utile. C'est une notion relative applicable aussi bien à un lanceur (par rapport au satellite transporté) qu'à un satellite (par rapport aux instruments scientifiques qu'il emporte).

Veille météorologique mondiale (VMM). Programme international de collecte, d'analyse et de diffusion de données relatives aux conditions atmosphériques et à l'environnement, lancé en 1967.

ENCYCL. La Veille météorologique mondiale regroupe les installations et les services nationaux mis en place et exploités par les pays membres de l'Organisation météorologique mondiale (OMM).

Cette structure repose sur un principe fondamental : chacune des 160 nations membres s'engage à assumer certaines responsabilités dans le cadre d'un programme mondial, de sorte que la communauté des nations bénéficie de cet effort collectif. Ce programme est un exemple concret et efficace de coopération internationale. Cette veille météorologique comporte trois éléments fondamentaux :

- un système mondial d'observation, qui comprend les moyens et les installations sur terre, en mer, à bord d'aéronefs et de satellites d'observation pour la mesure des facteurs météorologiques ;
- un système mondial de télécommunications, qui assure l'échange rapide des données analysées et traitées, et tout particulièrement des prévisions établies par les centres de traitement. Ce système fait de plus en plus appel aux télécommunications par satellites. On peut citer, à titre d'exemple, la couverture intégrale des océans, qui permet la collecte et la centralisation des messages météorologiques élaborés par les navires d'observation ainsi que la diffusion des prévisions et avis aux navires circulant sur les océans ;
- un système de traitement des données, qui regroupe les centres de traitement mondiaux et régionaux.

LES SATELLITES UTILISÉS. Le système mondial de météorologie élabore les données à partir de deux orbites distinctes, et donc à partir de deux types de satellites :

- les satellites géostationnaires, qui ont une position fixe au-dessus de l'Équateur et délivrent des images du disque terrestre toutes les trente minutes. Les Etats-Unis fournissent les satellites GOES*, l'Europe gère les Météosat*, le Japon les GMS*, et l'Inde participe à cette activité avec une partie de la charge utile des Insat*. Le satellite russe GOMS, initialement prévu pour 1978, mais retardé d'année en année à cause de difficultés techniques et financières, a été enfin lancé le 26 octobre 1994 sous le nom d'Elektro 1. Devant l'importance des données météorologiques, la Chine étudie un système national et viendra ainsi enrichir la collecte de données ;
- les satellites à défilement polaire, qui gravitent autour de la Terre quatorze fois par jour à une altitude de l'ordre de 850 km. Deux fois par jour, ils transmettent des images et différentes données de l'ensemble de la Terre. La NOAA* américaine exploite en permanence deux satellites dénommés TIROS ou NOAA et la Russie, un satellite Météor* ou Metsat.

Toutes les données-images issues des satellites géostationnaires sont transmises aux stations utilisateurs par le système international WEFAX. De même, le réseau APT se charge de la distribution des images géné-

rées par les satellites polaires. Des milliers de stations WEFAX/APT sont actuellement exploitées à travers le monde.

Vel. Abréviation de *Vela,* désignant la constellation des Voiles.

Vela (-orum). Nom latin de la constellation des Voiles (abrév. *Vel).*

Vela. Satellites américains de détection d'explosions nucléaires lancés (en douze exemplaires) entre 1963 et 1970. Ensuite, ce rôle fut confié aux satellites IMEWS d'alerte à grande distance.

véloergomètre n.m. Bicyclette spéciale permettant l'étude et la mesure du travail musculaire, SYN : *bicyclette ergométrique*
ENCYCL. Le véloergomètre est utilisé lors des tests de sélection des spationautes et pendant leur période de préparation à un vol spatial. À bord des stations spatiales, il permet aux spationautes d'accomplir des exercices musculaires rigoureusement contrôlés qui contribuent à restreindre les effets de l'impesanteur sur l'organisme.

Venera (mot russe désignant *Vénus).* Sondes spatiales soviétiques destinées à l'étude de la planète Vénus.
ENCYCL. Venera 1, lancée le 12 février 1961, constitua la première sonde spatiale envoyée en direction d'une planète du système solaire, mais tomba en panne quelques semaines après son départ. Venera 2 et 3, lancées en novembre 1965, échouèrent également dans leurs missions.
Le premier succès soviétique dans l'exploration spatiale de Vénus fut enregistré le 18 octobre 1967, lorsque la sonde Venera 4 largua une capsule de 1 m de diamètre, porteuse d'instruments scientifiques, dans l'atmosphère de la planète. Cette capsule fut d'abord freinée très brutalement par le frottement atmosphérique, puis procéda à des. mesures in situ de l'atmosphère au cours d'une descente de 93 min ralentie par un parachute. Elle révéla une atmosphère composée presque uniquement de gaz carbonique, et cessa de fonctionner à 27 km d'altitude lorsque la pression atteignit 20 bars et la température 270 °C. En 1969, les sondes Venera 5 et 6 renouvelèrent la performance de Venera 4. En 1970, Venera 7 atteignit le sol de Vénus, et, le 22 juillet 1972, Venera 8 devint le premier engin à fonctionner sur le sol d'une autre planète, mesurant une pression au sol proche de 100 bars, et une température de 470 °C.
À ce stade, les Soviétiques remplacèrent leurs sondes vénusiennes de première génération, qui avaient une masse voisine de 11, par des sondes de seconde génération, d'une masse proche de 5 t, pouvant déposer sur Vénus des capsules de 11 porteuses d'instruments. En 1975, Venera 9 et 10 transmirent les premières photographies du sol vénusien, exploit renouvelé en couleurs en 1982 parles sondes Venera 13 et 14 (entre-temps, deux autres sondes se posèrent sur Vénus, mais sans prendre de photographies). En 1983, les deux sondes Venera 15 et 16 se satellisèrent autour de Vénus pour observer sa surface à travers l'épaisse couche de nuages qui la masque en permanence, grâce à des radars à balayage latéral. En décembre 1984, deux sondes Venera ont été lancées en direction de Vénus, mais avec comme second objectif la comète de Halley. -+ **Vega**

vent solaire. Flux de particules chargées, principalement protons et électrons, qui s'échappent en permanence de la couronne solaire dans le milieu interplanétaire et dont l'expansion est contrôlée par le champ magnétique du Soleil.
ENCYCL. L'émission continue de particules chargées par le Soleil a été postulée dès 1951 par l'astrophysicien allemand L. Biermann, lorsqu'il attribua à la pression exercée par de telles particules l'orientation systématique des queues de comètes dans une direction opposée à celle du Soleil. L'existence du vent solaire a été confirmée au début des années 60 par les premières sondes spatiales. Depuis, de nombreux engins spatiaux ont eu pour mission de mesurer ses caractéristiques. Celles-ci sont à présent connues sur des distances allant de quelques dizaines de millions de kilomètres du Soleil (sondes allemandes Helios, en 1975 et 1976) à plusieurs milliards de kilomètres du Soleil (sondes américaines Pioneer 10, Pioneer 11, Voyager 1 et Voyager 2). Localement et transitoirement accéléré à l'occasion d'éruptions

solaires ou de perturbations de la couronne solaire, ce flux de particules atteint, au voisinage de l'orbite terrestre, une vitesse moyenne de l'ordre de 400 km/s. Les données recueillies par la sonde Ulysse* ont toutefois révélé que le vent solaire s'échappe beaucoup plus rapidement des régions polaires du Soleil que de ses régions équatoriales.

vent stellaire. Flux continu de particules chargées s'échappant de l'atmosphère de certaines étoiles chaudes et massives. Il est à l'origine d'une importante perte de masse de ces étoiles au cours de leur vie.

VentureStar. Projet de navette spatiale américaine monoétage conçue, dans un premier temps, pour transporter des hommes ou du matériel entre la Terre et la Station spatiale internationale. Son premier vol est prévu pour 2004.

Vénus. Planète du système solaire située entre Mercure et la Terre.
ENCYCL. C'est l'astre le plus lumineux du ciel après le Soleil et la Lune. Première « étoile » qui s'allume le soir et dernière qui s'éteint le matin, elle est très populaire sous le nom d'*étoile du Berger*. Vénus est la première planète du système solaire en direction de laquelle ont été lancés des engins spatiaux. Dès le 12 février 1961, l'URSS lança la sonde Venera 1, destinée à passer à 100 000 km environ de la planète, mais le contact radio avec l'engin fut perdu au bout de quelques semaines, alors qu'il se trouvait à 7 millions de kilomètres de la Terre.
Le premier succès dans l'exploration de Vénus depuis l'espace a finalement été obtenu grâce à la sonde américaine Mariner 2, lancée le 27 août 1962 et qui a survolé la planète à une distance de 34 830 km le 14 décembre 1962. Les observations effectuées à l'aide de ses deux radiomètres (l'un à ondes ultracourtes, l'autre à infrarouge) permirent d'établir que Vénus possède une surface sèche et extrêmement chaude (plus de 400 °C). D'autres données, recueillies à l'aide d'un magnétomètre et de détecteurs de particules, montrèrent que le champ magnétique vénusien, s'il existe, a une intensité inférieure au dixième de celui de la Terre.
L'exploration spatiale de Vénus s'est poursuivie avec les sondes soviétiques Venera et les sondes américaines Mariner 5 (1967), Mariner 10 (1974), Pioneer Venus 1 et 2 (1978) et Magellan (1990-1994). Venera 3, le 1er mars 1966, a été la première sonde à descendre dans l'atmosphère vénusienne (où elle a malheureusement été détruite à 32 km d'altitude) ; Venera 7, le 15 décembre 1970, a réussi le premier atterrissage en douceur à la surface de la planète ; Venera 9, le 22 octobre 1975, a retransmis les premières photographies de la surface ; Pioneer Venus 1, le 4 décembre 1978, a été la première sonde placée en orbite autour de la planète.
ATMOSPHÈRE. Vénus est enveloppée en permanence d'une épaisse atmosphère de gaz carbonique (96,5 %) et d'azote (3,5 %) qui masque sa surface. Les nuages s'étendent entre 50 et 70 km d'altitude et se répartissent en trois couches qui diffèrent par la concentration et la dimension des aérosols qu'elles renferment. La couche supérieure est constituée principalement de gouttelettes d'acide sulfurique en solution aqueuse. Dans les couches inférieures, ces gouttelettes donnent des précipitations d'acide sulfurique qui s'évaporent bien avant d'atteindre la surface, formant une région de brume sulfurique, sous les nuages. Mais, à moins de 30 km d'altitude, l'atmosphère reste toujours limpide.

La haute température (470 °C) de la surface vénusienne (où la pression est 92 fois plus forte que sur la Terre) s'explique par un effet de serre dû au gaz carbonique de l'atmosphère. On présume que cette surface abritait jadis des océans qui se sont ensuite évaporés. La circulation atmosphérique est complexe. Des cellules de convection assurent le transfert vers les pôles de la chaleur reçue du Soleil à l'équateur. Mais cette circulation nord-sud, assez lente (25 km/h), est éclipsée par une rapide rotation est-ouest de la couverture nuageuse (400 km/h à l'équateur, au sommet des nuages). Par ailleurs, les régions polaires correspondent à des zones tourbillonnaires où le plafond des nuages s'abaisse d'environ 15 km.
ROTATION. De longues séries d'observations au radar ont montré que Vénus tourne sur elle-même en 243 j, en sens rétrograde. Cette particularité, conjuguée à la période

de révolution de Vénus autour du Soleil (224,7 j), vaut au jour solaire vénusien d'avoir une durée de 117 jours terrestres.

TOPOGRAPHIE. Dissimulé derrière un voile de nuages, le relief de Vénus est révélé par des mesures au radar réalisées depuis la Terre à l'aide de puissants radiotélescopes ou par des sondes automatiques placées en orbite vénusienne. Les données les plus complètes sont celles obtenues grâce à la sonde américaine Magellan* depuis 1990. Environ 85 % de la surface sont occupés par des plaines. Deux grands plateaux ayant les dimensions de continents terrestres, *Aphrodite Terra* et *Ishtar Terra,* dominent les plaines. Sur le second se trouve, à l'est, le plus haut sommet de Vénus, le mont Maxwell (11 800 m). L'une des principales surprises a été la découverte de très nombreuses structures volcaniques et de coulées de laves en de nombreuses régions. Dans les plaines, des groupes d'édifices volcaniques ont été mis en évidence ainsi que des zones fracturées, témoins d'une déformation importante de la surface sous les contraintes tectoniques. L'origine du volcanisme de Vénus est évidemment liée à des processus de convection à l'intérieur de la planète, analogues à ceux de la Terre. L'une des questions non résolues est le mode de formation de la croûte vénusienne. L'observation des cratères d'impact qui parsèment la surface de Vénus suggère en tout cas que cette surface est jeune et permet d'affirmer qu'elle n'est pas actuellement le siège d'une tectonique des plaques. D'une part, en effet, les cratères vénusiens ont, en majorité, conservé leur morphologie initiale, ce qui indique que les processus d'érosion n'ont pratiquement pas affecté leurs formes. D'autre part, la distribution du nombre de cratères suivant la taille se révèle remarquablement uniforme, ce qui prouve que l'âge de la surface est très homogène. Au total, plus de 800 cratères, avec des diamètres de 2 à 280 km, ont été observés sur environ 90 % de la surface. Parmi ceux-ci, plus de 60 % ont conservé leur forme d'origine, alors que seulement 5 % sont partiellement recouverts de laves. Ces observations suggèrent que la surface

CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES DE VÉNUS

diamètre équatorial	12 102 km (0,949 fois celui de la Terre)
diamètre polaire	12 102 km
aplatissement	**0**
masse par rapport à celle de la Terre	0,815
densité moyenne	5,20
accélération de la pesanteur à l'équateur	0,91 fois celle de la Terre
vitesse de libération	10,4 km/s
période de rotation sidérale	243,02 j (rétrograde)
inclinaison de l'équateur sur l'orbite	177,4°
albédo	**07**

CARACTÉRISTIQUES ORBITALES DE VÉNUS

demi-grand axe de l'orbite	108 200 000 km, soit 0,723 3 ua
distance maximale au Soleil	109 000 000 km
distance minimale au Soleil	107 400 000 km
excentricité	0,007
inclinaison sur l'écliptique	3° 23'
période de révolution sidérale	224,695 j
vitesse orbitale moyenne	35,03 km/s
période de révolution synodique	583,92 j
distance maximale à la Terre	258 000 000 km
distance minimale à la Terre	41 000 000 km

de Vénus s'est créée très rapidement, il y a 500 millions à 1 milliard d'années. Elle serait donc beaucoup plus jeune que celles de Mercure, de Mars et de la Lune.

vérité-terrain (ou **vérité de terrain)** **-* réalité de terrain**

vernal (point). Point de la sphère céleste, situé à celle des deux intersections de l'équateur et de l'écliptique que le Soleil franchit en ayant une déclinaison croissante, SYN : *équinoxe de printemps, point équinoxial de printemps, point gamma*

ENCYCL. Habituellement désigné par la lettre y, ce point marque le début du printemps, du point de vue astronomique. Il est animé d'un lent mouvement rétrograde sur l'écliptique, qui se traduit par une avance annuelle de l'instant de l'équinoxe de printemps. -» **précession.** Il sert d'origine pour le calcul des ascensions droites et des longitudes célestes. Il intervient aussi dans la définition du temps sidéral.

Verne (Jules), écrivain français (Nantes 1828-Amiens 1905).

Créateur du roman d'anticipation scientifique, il a abordé le thème du vol dans l'espace dans ses ouvrages *De la Terre à la Lune (1865), Autour de laLune (4870), Hector Servadac (1877) et les Cinq Cents Millions de la Bégum (1879)*- Les deux premiers racontent l'odyssée de trois astronautes envoyés vers la Lune et satellisés par erreur autour de cet astre. Nous savons à présent que le voyage tel que l'imagine Jules Verne, à bord d'un obus lancé par un immense canon enfoui dans le sol, est irréalisable : l'accélération au départ écraserait les passagers et l'obus les transportant flamberait avec leurs cadavres en traversant l'atmosphère à grande vitesse. Néanmoins, le choix de la Floride comme lieu de lancement préfigure déjà de façon tout à fait remarquable l'utilisation future du cap Canaveral, et ce n'est pas fortuit. L'état d'impesanteur se trouve pour la première fois décrit en détail.

Enfin, l'œuvre fourmille d'informations scientifiques qui reflètent très exactement les connaissances de l'époque : sensible à la richesse des découvertes de son temps, Jules Verne s'en tenait informé avec un soin constant et scrupuleux. Ne dit-on pas qu'il poussa le zèle jusqu'à confier à l'astronome Jules Janssen et au mathématicien Joseph Bertrand le soin de refaire ses calculs et de vérifier l'exactitude des courbes représentant la trajectoire de son vaisseau spatial ? Toujours est-il qu'en mêlant très habilement la science et la fiction, Jules Verne aura eu le grand mérite de stimuler les recherches pour que se concrétise enfin le très vieux rêve du voyage dans l'espace.

Verseau (en latin *Aquarius, -ii).* Constellation zodiacale, entre le Capricorne et les Poissons.

ENCYCL. Les Anciens y voyaient la silhouette d'un homme agenouillé, versant l'eau d'une amphore. Ses étoiles principales, de magnitude apparente comprise entre 3 et 4, ne sont que modérément brillantes. Elle renferme l'amas globulaire M 2 et les nébuleuses planétaires NGC 7293 (« Hélix ») et NGC 7009 (« Saturne »), accessibles aux instruments d'amateur.

Vesta. Astéroïde 4, découvert le 27 mars 1807 par H. Olbers. Demi-grand axe de son orbite : 2,362 ua (soit env. 353 millions de km). Période de révolution : 3,63 ans. Période de rotation : 5,34 h. Diamètre : 510 km. Masse : 1,2-10"^{10} fois celle du Soleil. Sa surface semble formée d'un assortiment complexe de roches ignées. Ses caractéristiques spectrales en font le prototype d'une catégorie d'astéroïdes.

vide n.m. Ambiance correspondant à un état dont la pression est très inférieure à celle de l'atmosphère terrestre au niveau de la mer.

ENCYCL. L'une des caractéristiques du milieu spatial est le vide très poussé qui y règne, qu'aucun dispositif expérimental ne permet actuellement de reproduire sur la Terre. Alors que la pression atmosphérique normale au sol est de 760 mm de mercure, à des altitudes de l'ordre de 250 à 400 km ne règne plus qu'une pression inférieure à 10"^{12} mm (un millième de milliardième de millimètre) de mercure .; elle est cependant un peu plus élevée au contact même des vaisseaux spatiaux par suite d'un léger dégazement de leurs parois. Le nombre de particu-

les par centimètre cube, qui atteint 2,6-10^{19} (26 milliards de milliards) dans l'air, au niveau de la mer, n'est plus que de 0,1 dans l'espace interplanétaire : dans l'air que nous respirons, deux molécules ne peuvent parcourir, en moyenne, plus de 80 nanomètres (80 milliardièmes de mètre) sans entrer en collision, mais dans l'espace interplanétaire cette distance représente 20 milliards de kilomètres (plus de 130 fois la distance de la Terre au Soleil). En dépit de son vide apparent, l'espace interplanétaire recèle beaucoup de matière sous forme de micrométéorites et de poussières (débris cométaires), et il est traversé par des rayonnements électromagnétiques et corpusculaires : rayons cosmiques, rayonnement solaire, vent solaire, etc. Le vide spatial impose aux spationautes le port d'un scaphandre* lors de leurs sorties extravéhiculaires.

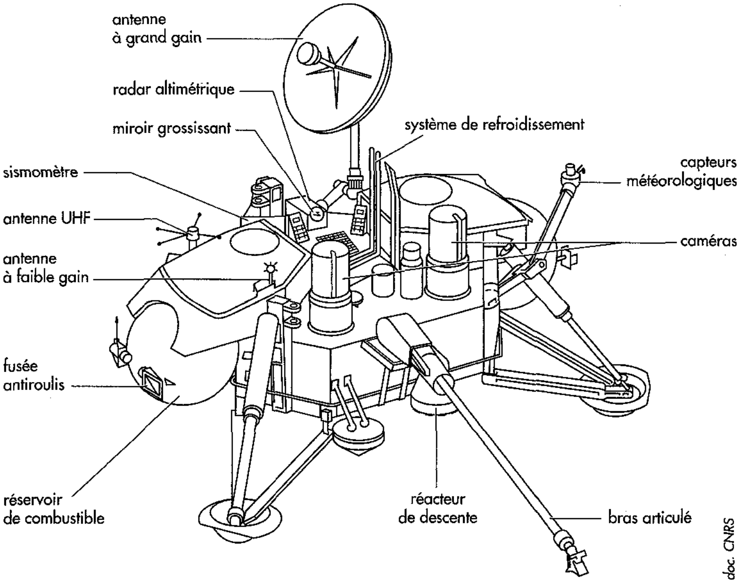
Vierge (en latin *Virgo, -inis).* Constellation zodiacale, entre le Lion et la Balance.
ENCYCL. Son étoile la plus brillante est l'Épi* (ou *Spica).* Son étoile *y* est l'une des premières étoiles doubles à avoir été découvertes : ses deux composantes, séparées de 4,6", ont le même éclat (magnitude 3,6) et le même type spectral (F0), et tournent autour de leur centre de gravité mutuel en 171,8 ans. Son étoile s est *Vindemiatrix*.* La constellation renferme aussi un très important amas de galaxies (amas *Virgo).*

Viking. Moteurs développés et réalisés par la SEP, à partir de 1973, pour équiper les premier et deuxième étages (et, le cas échéant, les propulseurs d'appoint à liquides) des lanceurs Ariane 1 à 4.
ENCYCL. Le lanceur Ariane 4 en utilise plusieurs versions :
-Viking 5 (poussée au sol : 678 kN, pression de combustion : 58 bars, durée de fonctionnement : 209 s, débit d'ergols : 276,4 kg/s), en quatre exemplaires pour le premier étage ;
- Viking 4 (poussée dans le vide : 805 kN, durée de fonctionnement : 125 s) pour le deuxième étage ;
-Viking 6 (poussée au sol : 678 kN, durée de fonctionnement : 140 s) pour les éventuels PAL.
Ergols consommés : peroxyde d'azote et, selon les cas, UDMH ou UH 25. Impulsion spécifique (dans le vide) : de 278 à 295 s selon les versions.

Viking. Programme américain de sondes spatiales automatiques destinées à l'exploration de la planète Mars.
BNCYCL. Deux sondes Viking ont été lancées, respectivement les 20 août et 9 septembre 1975, par des fusées Titan III Centaur. D'une masse de 3 400 kg, elles étaient formées chacune de deux parties : 1° un orbiteur, destiné à étudier la planète depuis une orbite de satellite artificiel et équipé d'un moteur-fusée permettant de freiner la course de l'ensemble du véhicule et d'insérer celui-ci sur orbite martienne ; 2° un atterrisseur, destiné à se poser en douceur sur Mars pour procéder à des études in situ du sol et de l'atmosphère. Ce compartiment comportait : une rétrofusée, lui permettant de quitter l'orbite martienne de l'orbiteur ; un bouclier thermique conique, le protégeant pendant la rentrée dans les couches denses de l'atmosphère martienne et le freinage intense qui s'ensuit ; un parachute servant à compléter le freinage aérodynamique ; et trois petites rétrofusées, pilotées par un radaraltimètre, servant à assurer un atterrissage en douceur. Les deux Viking se placèrent sur orbite martienne au début de l'été 1976. L'atterrisseur de Viking 1 se posa le 20 juillet 1976 dans la région de *Chryse Planifia,* et celui de Viking 2 renouvela cet exploit le 3 septembre dans la région de *Utopia Planitia ;* le premier fonctionna jusqu'en novembre 1982, le second jusqu'en avril 1980.

Les atterrisseurs des Viking, d'une masse de 576 kg, une fois posés à la surface de la planète, comportaient chacun *(voir* figure) :
1° une caméra à balayage panoramique permettant d'obtenir des images en couleurs des environs du point d'atterrissage et montrant des détails de 2,5 mm près des pieds du véhicule ;
2° un bras télécommandé équipé d'une petite pelle permettant de prélever des échantillons de sol et de les introduire dans les appareillages d'analyse ;
3° un spectromètre de masse couplé avec un chromatographe à gaz, permettant de déterminer la composition des substances miné-

Atterrisseur d'une sonde **Viking**



raies et organiques présentes dans le sol et l'atmosphère ;
4° trois expériences biologiques intégrées dans un même appareil et destinées à déceler la présence d'éventuels micro-organismes dans le sol martien, en recherchant des manifestations métaboliques de ces organismes.
Les expériences biologiques n'ont pas permis de découvrir l'existence d'une vie martienne.
Elles ont, au contraire, permis de constater que le sol martien, sans doute sous l'effet du rayonnement ultraviolet solaire, comporte des composés extrêmement oxydants, dont la présence interdit l'existence de toute molécule organique.

Vinci. Moteur cryotechnique réallumable destiné à la propulsion de l'étage supérieur du lanceur Ariane 5, dans la version améliorée Ariane 5C. Poussée : 150 kN. Sa mise en service est prévue en 2006.

Vindemiatrix (nom latin signifiant *la vendangeuse,* parce que le lever héliaque de cette étoile était jadis le signal du début des vendanges). Étoile s de la Vierge. Magnitude apparente visuelle : 2,8. Type spectral : KO. Distance : 100 années de lumière.

Vil". Abréviation de *Virgo,* désignant la constellation de la Vierge.

Virgo (-inis). Nom latin de la constellation de la Vierge (abrév. *Vif).*

Virgo (amas). Amas de galaxies observable dans la constellation de la Vierge.
ENCYCL. Situé à une distance de 15 millions de parsecs environ, il occupe le centre du Superamas* local. Il s'agit d'un amas irrégulier qui rassemble plusieurs centaines de galaxies de tous types morphologiques. Il renferme notamment la galaxie elliptique géante M87, dont la région centrale semble abriter un trou* noir de très grande masse.

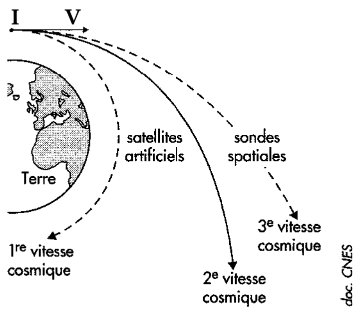
Virgo. Programme franco-italien de détection des ondes* gravitationnelles à l'aide d'un interféromètre optique à laser. Dans le cadre de ce programme a été décidée en

1994 la construction à Cascina, près de Pise, d'une antenne interférométrique comportant deux bras perpendiculaires de 3 km de long ; celle-ci, financée à 45 % par la France et à 5 % par l'Italie, devrait entrer en service vers l'an 2000.

viriel (théorème du). Théorème énonçant que, dans un système gravitationnellement stable, la somme de l'énergie potentielle globale et du double de l'énergie cinétique est nulle.
ENCYCL. Ce théorème joue un rôle important en astronomie, dans l'étude des amas d'étoiles ou de galaxies. On l'utilise notamment pour estimer la masse des amas de galaxies d'après leurs dimensions et d'après la vitesse moyenne des galaxies lumineuses qu'ils renferment. Les valeurs obtenues ont conduit à postuler l'existence de matière* noire.

vitesse cosmique. Vitesse minimale théorique que doit atteindre un corps soit pour être satellisé autour de la Terre, soit pour échapper à son attraction, soit pour quitter le système solaire.
ENCYCL. Le concept de vitesse cosmique, introduit par K. Tsiolkovski*, recouvre trois notions distinctes.
La première vitesse cosmique (*voir* figure) est la vitesse minimale théorique qu'il faut communiquer à un corps, au départ de la Terre, pour le satelliser autour de la planète. Cette vitesse, dans un repère inertiel géocentrique, est voisine de 7,9 km/s.
La deuxième vitesse cosmique est la vitesse de libération d'un corps quittant la surface de la Terre. Dans un repère inertiel géocentrique, cette vitesse est d'environ 11,2 km/s.
La troisième vitesse cosmique est la vitesse minimale théorique qu'il faut communiquer à un corps pour lui permettre de quitter le système solaire. À partir de la Terre, dans un repère inertiel géocentrique, cette vitesse est d'environ 16,6 km/s.

Vitesses cosmiques



vitesse de libération. Vitesse minimale que doit atteindre théoriquement un corps pour s'éloigner indéfiniment d'un astre, sous certaines conditions, malgré l'attraction gravitationnelle de ce dernier. **vitesse cosmique**

vitesse de satellisation minimale. Vitesse minimale qu'il faudrait théoriquement communiquer à un corps au départ d'un astre pour le satelliser au plus près de ce dernier sur une orbite circulaire. **vitesse cosmique**

VLA (sigle de *Very Large Array,* très grand réseau). Grand radio-interféromètre des États-Unis, dans la plaine de San Augustin, à 80 km à l'ouest de Socorro (Nouveau-Mexique) et à 2 100 m environ d'altitude.
ENCYCL. Achevé en 1980, il comporte 27 antennes paraboloïdales orientables de 26 m de diamètre chacune, mobiles sur des rails et disposées en un immense Y dont les branches est et ouest s'étendent sur 21 km de long et la branche nord sur 19 km. Chaque antenne, qui pèse 210 t, est conçue pour résister à des tempêtes atteignant jusqu'à 180 km/h. Ce réseau, qui opère sur 21 cm, 6 cm, 2 cm et 1,3 cm de longueur d'onde, bénéficie, avec la technique de la synthèse d'ouverture, d'un pouvoir de résolution comparable à celui des grands télescopes optiques.

VLBA (sigle de l'angl. *Very Long Baseline Array,* réseau à très longue base). Réseau américain de radiotélescopes destiné à la radio-interférométrie à très longue base. Achevé en 1992, il comporte dix antennes paraboloïdales de 25 m de diamètre, réparties de Hawaii, dans le Pacifique, aux îles Vierges, dans l'Adantique, et fonctionne sur neuf longueurs d'onde entre 7 mm et 90 cm, avec une résolution qui varie de 0,02" à 0,000 2".

VLBI. Sigle de *Very Long Base Interferometry,* utilisé pour désigner l'interférométrie à très longue base. **radio-interférométrie**

VLT (sigle de l'angl. *Very Large Telescope).* Très grand télescope européen de l'ESO, en cours d'installation au Chili, sur le Cerro Paranal, à 2 640 m d'altitude.
ENCYCL. instrument, lorsqu'il sera complet, sera constitué d'un réseau de quatre télescopes de 8,2 m de diamètre chacun, utilisables indépendamment ou en mode combiné, en particulier pour former un interféromètre équivalent à un télescope à miroir unique de 16 m de diamètre, bénéficiant des techniques d'optique* active.
Le premier télescope devrait être achevé en 1997, le deuxième en 1998, le troisième en 2000 et le quatrième en 2001. Chacun aura pour miroir primaire un ménisque mince en verre céramique de 17,5 cm d'épaisseur, pesant 23 t, supporté par 150 vérins pilotés par ordinateur et grâce auxquels sa forme pourra être optimisée durant les observations. De même, leur miroir secondaire pourra être réglé en position et en orientation pour compenser à tout instant les variations de géométrie inévitables dues aux déformations structurelles.

Voie lactée. Bande blanchâtre, irrégulière, qui ceinture tout le ciel étoilé.
ENCYCL. Les Anciens en attribuaient l'origine à des gouttes de lait tombées du sein de la déesse Junon alors qu'elle allaitait Hercule. Galilée, le premier, l'observa à la lunette et découvrit qu'elle se résolvait en une multitude d'étoiles non décelables à l'œil nu. Elle représente, en fait, la trace, dans le ciel, du disque de la Galaxie*, vu par la tranche.

voile solaire. Surface réfléchissante dont la propulsion dans l'espace est assurée par la pression* de rayonnement du Soleil.
ENCYCL. K.E. Tsiolkovski fut le premier à envisager, au début du siècle, l'utilisation de la poussée due aux photons de la lumière solaire comme moyen de propulsion dans l'espace. Cette poussée correspond, au voisinage de la Terre, à une pression de l'ordre de 8 grammes par hectare. Appliquée à une voile solaire, elle induit une accélération dont l'intensité dépend de la surface de la voile, de sa masse, de son orientation et de ses propriétés de surface. Plus une voile est grande, légère et réfléchissante, plus l'accélération est forte. Les changements d'orientation de la voile sont obtenus en appliquant des forces de mise en rotation. Vers 1975, la NASA et le CNES ont étudié des projets de sondes propulsées par la pression de rayonnement solaire pour rejoindre la comète de Halley. Faute de disposer à l'époque de matériaux adaptés (films réfléchissants suffisamment légers), ces projets ont été abandonnés. Avantageuses pour de longs trajets puisqu'elles ne consomment pas d'ergols, les voiles solaires pourraient être utilisées pour de futures missions d'exploration du système solaire.

Voiles (en latin *Vela, -orum).* Constellation australe issue de la subdivision de l'ancienne constellation du Navire* Argo.
ENCYCL. Elle renferme plusieurs étoiles brillantes, de magnitude 2 environ. Elle abrite aussi un pulsar*, découvert en 1968, qui émet des ondes radio, de la lumière visible et du rayonnement (de haute énergie. Celui-ci constituerait le reliquat d'une étoile ayant explosé en supernova il y a environ 12 000 ans et qui serait, en outre, à l'origine d'une vaste nébulosité révélée par la photographie.

vol habité. Mission de vaisseau spatial transportant des hommes ou des femmes.
ENCYCL. L'ère des vols habités s'ouvre le 12 avril 1961, lorsque la capsule soviétique Vostok 1 - emportant Iouri Gagarine - accomplit le tour de la Terre en 108 min. Depuis, au moins une mission spatiale habitée a été enregistrée chaque année.
En trente-huit ans (avril 1961-avril 1999), près de 400 êtres humains sont allés dans l'espace (certains plusieurs fois), un tiers environ en utilisant un vaisseau russe, deux tiers un vaisseau américain.
Parmi eux :
- 9 % étaient des femmes (une Britannique, une Canadienne, une Française, deux Japonaises, trois Russes, vingt-sept Américaines) ;
- 12 % n'étaient ni américains, ni russes ; ils représentaient une vingtaine de nations.

Sur la même période, les États-Unis ont lancé :
- une trentaine de capsules habitées (Mercury, Gemini et Apollo) qui ont transporté une quarantaine d'astronautes différents ;
- quatre-vingt treize orbiteurs qui ont transporté quelque deux cent cinquante astronautes différents.

Sur la même période, l'ex-Union soviétique a lancé environ quatre-vingt-dix capsules habitées (Vostok, Voskhod et Soyouz) qui ont transporté plus d'une centaine de cosmonautes différents.

Les quelque deux cents quinze vols habités effectués en trente-huit ans représentent 5 % du nombre total de satellites lancés dans l'espace depuis 1957.

Autrement dit, les vaisseaux habités ont été vingt fois moins nombreux que les véhicules automatiques.

LES DURÉES. La durée totale de toutes les missions habitées (obtenue en cumulant les temps de vol de tous les spationautes sur trente-huit ans) est de l'ordre de 500 000 heures, soit l'équivalent de plus de cinquante-sept ans, partagée très inégalement entre la Russie (70 %) et les États-Unis (30 %).

Premier vol supérieur à un jour. 25 h 18 min (G. Titov, Vostok 2, URSS, 6 août 1961).

Premier vol supérieur à une semaine. 7 j 22 h 55 min (G. Cooper et C. Conrad, Gemini 5, É-U, 21-29 août 1965).

Premier vol supérieur à quatre semaines. 28 j 49 min (C. Conrad, J. Kerwin et P. Weitz, Skylab 2, É-U, 25 mai-22 juin 1973).

Premier vol supérieur à huit semaines. 59 j 11 h 9 min (A. Bean, O. Garriott et J. Lousma, Skylab 3, É-U, 28 juillet-25 septembre 1973).

Premier vol supérieur à douze semaines. 84 j 1 h 16 min (G. Carr, E. Gibson et W. Pogue, Skylab 4, É-U, 16 novembre 1973-8 février 1974).

Premier vol supérieur à six mois. 211 j 9 h 4 min (V. Lebedev et A. Berezovoï, Saliout 7, URSS, 13 mai-10 décembre 1982).

Premier vol supérieur à un an. 365 j 22 h 40 min (V. Titov et M. Manarov, Mir, URSS, 21 décembre 1987-21 décembre 1988).

LES LANCEMENTS MULTIFLES. *Premier vol avec trois cosmonautes.* Voskhod 1 (V. Komarov, C. Feoktiskov etB. Egorov, 12 octobre 1964).

Premier vol avec deux astronautes. Gemini 3 (V. Grissom et J. Young, 23 mars 1965).

Premier vol avec quatre astronautes. Columbia, 5e vol navette (V. Brand, R. Overmyer, J. Allen et W. Lenoir, 11 novembre 1982).

Premier vol avec cinq astronautes. Challenger, 7e vol navette (R. Crippen, F. Hauck, S. Ride, J. Fabian et N. Thagard, 18 juin 1983).

Premier vol avec six astronautes. Columbia, 9e vol navette (J. Young, B. Shaw, O. Garriott, R. Parker, B. Lichtenberg et U. Merbold, 28 novembre 1983).

Premier vol avec sept astronautes. Challenger, 13e vol navette (R. Crippen, J. McBride, S. Ride, K. Sullivan, D. Leestma, M. Garneau et P. Scully-Power, 5 octobre 1984).

Premier vol avec huit astronautes. Challenger, 22e vol navette (H. Hartsfield, S. Nagel, J. Buchli, G. Bluford, B. Dunbar, R. Furrer, É. Messerschmid et W. Ockels, 30 octobre 1985).

LES « RÉCIDIVISTES ». Une cinquantaine de spationautes ont participé à au moins quatre missions spatiales. Quatre d'entre eux, Américains, sont partis six fois en orbite :
- John W. Young (Gemini 3 en 1965, Gemini 10 en 1966, Apollo 10 en 1969, Apollo 16 en 1972, premier vol de la navette en 1981 et neuvième vol de la navette en 1983) ;
- F. Story Musgrave (vols de la navette en 1983,1985,1989,1991,1993 et 1996) ;
- Jerry L. Ross (vols de la navette en 1985, 1988,1991,1993,1995 et 1998) ;
- Franklin R. Chang-Diaz (vols de la navette en 1986,1989,1992,1994,1996 et 1998).

LES ACCIDENTS MORTELS. Quatorze personnes ont péri dans un vaisseau spatial (en vol ou au sol) :
- les Américains R. Chaffee, V. Grissom et E. White, le 27 janvier 1967, dans l'incendie d'une capsule Apollo, lors d'une séance d'entraînement au sol ;
- le Soviétique V. Komarov, le 24 avril 1967, dont la capsule Soyouz 1 s'écrase au sol, au moment du retour, par suite d'une défaillance du système de parachutes ;
- les Soviétiques G. Dolbrovolski, V. Volkov et V. Patsaiev, le 29 juin 1971, en raison de la dépressurisation soudaine de leur capsule Soyouz 11, au cours de la rentrée atmosphérique ;
- les Américains F. Scobee, M. Smith, J. Resnik, E. Onizuka, R. McNair, G. Jarvis et C.

McAuliffe, le 28 janvier 1986, dans l'explosion de Challenger, soixante-treize secondes après le décollage. -* **astronaute, cosmonaute, sortie dans l'espace**

vol parabolique. Vol en forme de parabole qui permet de placer un avion sur une trajectoire de chute libre et d'obtenir ainsi, à l'intérieur de l'appareil, un état temporaire de micropesanteur.

ENCYCL. Un avion en vol balistique permet d'accéder à un faible niveau de pesanteur résiduelle pendant quelques dizaines de secondes (20 à 30 s en général).

L'avion (*voir* figure) est d'abord amené à une altitude suffisamment élevée (de l'ordre de 8 000 m) pour limiter la résistance de l'air, puis il entame une trajectoire ascendante. À ce stade, sa vitesse est élevée, de l'ordre de celle du son, et l'accélération inférieure ou égale à 2g. Peu de temps après, le pilote réduit fortement la poussée des moteurs de façon à faire suivre à l'avion la trajectoire qu'il décrirait dans le vide parfait ; pour cela, il règle leur régime de telle façon que celui-ci équilibre le mieux possible la résistance de l'air à l'avancement.

L'appareil suit donc une trajectoire voisine d'une parabole (durant laquelle ne subsiste, à l'intérieur, qu'une très faible pesanteur) qui le conduit à atteindre un niveau de culmination puis à amorcer sa descente.

Dès qu'il risque de se trouver en survitesse, le pilote réactive les moteurs de l'appareil pour le placer progressivement sur une trajectoire horizontale. Le niveau de micropesanteur atteint est assez bon, mais en raison de diverses perturbations cette technique convient surtout aux missions n'exigeant pas une grande précision : entraînement de spationautes, vérification du comportement de certains équipements ou de certains dispositifs expérimentaux appelés à être embarqués sur des engins spatiaux.

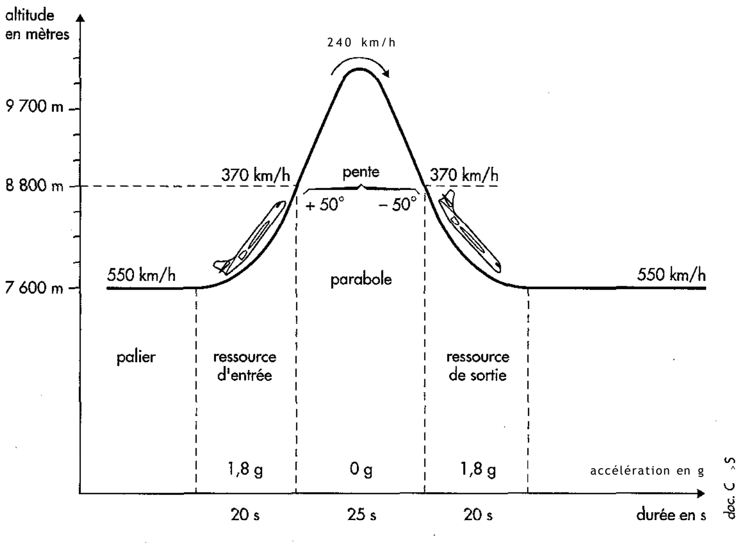
Les appareils utilisés (un KC-135 aux États-Unis, un Ilyouchine-76 en Russie, un Airbus A300 en Europe) bénéficient d'un aménagement spécial : l'intérieur de la carlingue est muni de parois capitonnées, avec des poignées disposées en plusieurs endroits, etc.

Une mission type dure de deux à trois heures et peut comporter jusqu'à quarante ou cinquante paraboles successives.

vol spatial. Déplacement dans l'espace d'un engin spatial par opposition au vol aérien qui a lieu dans l'atmosphère.

ENCYCL. Selon ses caractéristiques, le vol spatial pourra être automatique ou habité, ba-

Trajectoire d'un avion en **vol parabolique**



listique (suborbital) ou orbital, propulsé ou non, etc.

Vol. Abréviation de *Volans,* désignant la constellation du Poisson volant.

Volans (-antis). Nom latin de la constellation du Poisson volant (abrév. *Vol).*

Volgograd. Nom officiel du cosmodrome russe situé près de Kapoustine* Iar.

volume sous coiffe. Volume disponible sur un lanceur spatial pour y placer la charge* utile.

Voskhod (mot russe signifiant *élévation).* Vaisseau spatial habité soviétique, dérivé du Vostok, utilisé de 1964 à 1966.

ENCYCL. Le vaisseau spatial Voskhod était un Vostok amélioré, doté d'une cabine plus spacieuse (2,3 m de diamètre), pouvant abriter jusqu'à trois cosmonautes qui, cette fois, ne disposaient plus d'un siège éjectable et demeuraient dans leur cabine jusqu'à leur retour au sol.

11 ne fut utilisé que pour deux missions habitées, précédées chacune d'un vol d'essai avec deux mannequins :

- Voskhod 1, lancé le 14 octobre 1964, emmenait trois cosmonautes à bord et permit le premier vol dans l'espace d'un équipage de plusieurs hommes ;
- Voskhod 2, le 18 mars 1965, n'eut que deux passagers, mais l'un d'eux, Aleksei Leonov, accomplit la première sortie extravéhiculaire jamais effectuée dans l'espace, restant 23 min 41 s hors de la cabine, dont 12 min 09 s hors du sas du vaisseau spatial.

En 1966, une mission prévue pour une durée de deux semaines avec deux cosmonautes fut annulée. Elle fut remplacée par le vol de deux chiens, pendant 22 j, sur une orbite de 187 km de périgée et 904 km d'apogée amenant le vaisseau (dénommé Cosmos 110) à traverser les ceintures de rayonnement terrestres et permettant ainsi d'étudier la dose de radiations reçue par ses passagers.

Vostok (mot russe signifiant *orient).* Premier vaisseau spatial habité soviétique.

ENCYCL. D'une masse au décollage ae 4,7 t, Vostok comportait deux parties : une capsule monoplace sphérique offrant un volume habitable de 1,6 m^3, dans laquelle prenait place un cosmonaute en scaphandre, installé sur un siège éjectable, et un compartiment des appareils muni d'une rétrofusée de désorbitation.

Au terme de la mission, le cosmonaute était éjecté vers 7 000 m d'altitude et, freiné par un parachute, se posait au sol à une vitesse de 5 à 6 m/s, tandis que la capsule, elle-même munie d'un parachute qui s'ouvrait à 4 500 m, atterrissait à proximité avec une vitesse résiduelle voisine de 10 m/s.

Après sept vols d'essai (le premier inhabité, les autres emportant des chiens), dont deux échouèrent au lancement et un troisième lors de la rentrée dans l'atmosphère, entre mai 1960 et mars 1961, Vostok 1, le 12 avril 1961, permit à Iouri Gagarine d'accomplir le premier vol humain dans l'espace. Le programme Vostok s'acheva en 1963 après cinq autres vols habités : Vostok 3 et Vostok 4, en août 1962, furent les deux premiers vaisseaux habités à effectuer un vol groupé, en s'approchant à 5 km l'un de l'autre ; Vostok 6, dernier vaisseau de la série, permit de lancer pour la première fois dans l'espace une femme, Valentina Terechkova, en juin 1963.

Pendant longtemps, les Soviétiques ont entretenu le mystère sur la récupération de Gagarine, indiquant qu'il avait atterri avec sa capsule et évitant soigneusement de faire état de son éjection en vol, peut-être par crainte que celle-ci soit interprétée comme le résultat d'une défaillance et empêche la mission Vostok 1 d'être homologuée au niveau international comme le premier vol spatial habité. Ce n'est toutefois qu'en 1978 que son éjection de la capsule du Vostok a été pour la première fois décrite dans un livre.

Voyager. Programme américain de sondes spatiales automatiques destinées à l'étude et à la photographie rapprochées des plus grosses planètes du système solaire et de leurs satellites.

ENCYCL. Deux sondes identiques ont été lancées en 1977, du cap Canaveral, par des fusées Titan-Centaur : Voyager 2 le 20 août et Voyager 1 le 5 septembre. D'une masse de 815 kg, elles se rattachent à la famille des

Mariner*, mais elles ont été spécialement conçues pour fonctionner à grande distance du Soleil.

Trois générateurs nucléaires radio-isotopiques au plutonium 238 délivraient à l'origine une puissance électrique de 400 W pour l'alimentation en énergie des instruments scientifiques et des autres équipements de bord.

Les communications radio de Voyager avec la Terre sont assurées par une antenne parabolique de 3,7 m de diamètre qui reste toujours orientée vers notre planète. Les émetteurs ont une puissance de 23 W.

Chaque sonde est également munie d'un enregistreur numérique d'une capacité de 500 millions de bits.

L'équipement scientifique comprend onze instruments :

- les uns pour l'étude *in situ* du milieu interplanétaire et des magnétosphères traversées (magnétomètres ; détecteurs de particules chargées, de rayons cosmiques de plasma et d'ondes radio) ;
- les autres, montés sur une plate-forme orientable, pour l'étude à distance des astres survolés (interféromètre ; spectromètres infrarouge et ultraviolet ; photopolarimètre ; ainsi que deux caméras, l'une grand angle, avec un champ de prise de vues de 3 degrés, l'autre petit angle, avec un champ de 0,4 degré).

Jupiter* et ses principaux satellites ont constitué le premier objectif des deux sondes : Voyager 1 a survolé la planète à une distance minimale de 278 000 km le 4 mars 1979 et Voyager 2 d'une distance de 650 000 km le 10 juillet 1979.

En utilisant la gravité de cette planète géante, les deux sondes Voyager ont ensuite été propulsées vers Saturne*, dont elles se sont approchées respectivement à 124 000 km le 12 novembre 1980 et 101 000 km le 26 août 1981, avec, en sus, dans le cas de Voyager 1, un passage à proximité du gros satellite Titan*, la veille de son survol de Saturne.

Les trajectoires des deux sondes ont ensuite divergé : Voyager 1 s'est enfoncée dans l'espace tandis que Voyager 2 a utilisé la gravité de Saturne pour « rebondir » vers Uranus*, planète plus lointaine, à 107 000 km de laquelle elle est passée le 24 janvier 1986. Une ultime manoeuvre d'assistance* gravitationnelle l'a ensuite propulsée vers Neptune, qu'elle a survolée, à une distance de moins de 5 000 km, le 24 août 1989, s'approchant encore, le lendemain, du principal satellite de la planète, Triton*. Après ce remarquable périple, qui a fait considérablement progresser notre connaissance des grosses planètes du système solaire et de leur environnement, Voyager 2, comme Voyager 1, s'enfonce dans Pespace. Les deux sondes, dont on espère capter les émissions jusque vers 2015, poursuivent leur exploration du milieu interplanétaire à plusieurs milliards de kilomètres du Soleil. Voyager 1 est, depuis le 17 février 1998, l'engin de fabrication humaine situé le plus loin de la Terre (avant cette date, il s'agissait de Pioneer 10).

—» héliosphère

Pour le cas où elles seraient un jour recueillies par des extraterrestres, les sondes Voyager emportent chacune un vidéodisque renfermant une véritable encyclopédie audiovisuelle de la Terre.

vrai, e adj. *Coordonnées vraies d'un astre :* coordonnées moyennes de cet astre corrigées de la nutation. On les obtient en retranchant, aux coordonnées fournies directement par les observations, des termes dus à la réfraction et à l'aberration. *Hauteur vraie :* hauteur corrigée de la réfraction (par opposition à la hauteur apparente). *Midi vrai:* heure de passage du Soleil au méridien d'un lieu donné. *Temps solaire vrai :* angle horaire apparent du centre du Soleil, pour un lieu donné (par opposition au temps solaire moyen).

Vul. Abréviation de *Vulpeeula,* désignant la constellation du Petit Renard.

Vulcain. Moteur cryotechnique utilisé pour propulser l'étage principal d'Ariane 5.
ENCYCL. Développé par la SEP, avec la coopération de nombreux partenaires européens, il est alimenté en ergols à haute pression (hydrogène et oxygène liquides) par deux turbopompes indépendantes.

Hauteur : 3 m ; diamètre (sortie de tuyère) : 1,76 m ; masse totale : inférieure à 1 700 kg. Poussée totale dans le vide : 1 075 kN ; pous-

sée totale au sol : 815 kN ; impulsion spécifique dans le vide : 431 s ; pression de combustion : 105 bars ; temps de fonctionnement en vol : 600 s ; débit total d'ergols : 255 kg/s. La mise au banc du premier moteur Vulcain a eu lieu en avril 1990, à Vernon (Eure). Il a atteint le régime nominal en décembre 1990, et sa durée nominale de fonctionnement (600 s) en juin 1991.

Vulpecula(-ae). Nom latin de la constellation du Petit Renard (abrév. *Vul).*

W Cephei (étoile). Type de supergéante binaire dont le spectre présente des raies d'émission. La composante primaire est une supergéante de type spectral G ou M, et la composante secondaire, une étoile chaude de type spectral B.

W

Wallops Island. Base de lancement américaine, sur la côte est des États-Unis, en Virginie. Coordonnées géographiques : 37,9°N., 75,5° O.

ENCYCL. Inaugurée en 1945, elle s'étend sur près de 2 500 ha, répartis sur trois sites voisins. Dépendance du centre spatial Goddard de la NASA, elle est utilisée pour des lancements de ballons, de fusées-sondes ou de petits satellites scientifiques (à l'aide de fusée Scout). Le premier lancement d'un satellite (qui ne put être placé sur orbite) eut lieu le 4 décembre 1960.

Wells (Herbert George), écrivain anglais (Bromley, Kent, 1866-Londres 1946).
Après avoir obtenu un diplôme de zoologie à l'université de Londres, il débuta comme vulgarisateur scientifique et comme journaliste avant de devenir l'un des maîtres du roman de science-fiction. Parmi ses ouvrages, *The War of the Worlds (la Guerre des mondes,* 1898) eut un retentissement considérable : inspiré par les observations de certains astronomes qui accréditaient à l'époque l'hypothèse de la présence d'une civilisation avancée sur Mars, il y décrit l'invasion de la Terre par les Martiens. Ce roman a ouvert la voie à d'innombrables récits d'invasions de notre planète par des extraterrestres. En 1938, le cinéaste et acteur américain Orson Welles sema la panique aux États-Unis en reprenant le même thème et en racontant l'arrivée des Martiens sur la Terre, à la manière d'un reportage, au cours d'un programme radiophonique. Dans une autre de ses œuvres, *The First Men in the Moon (les Premiers Hommes dans la Lune,* 1901), Wells imagine des astronautes atteignant la Lune à bord d'un vaisseau spatial, grâce à l'emploi d'une substance antigravifique, la cavorite, et qui découvrent le satellite de la Terre peuplé de créatures semblables à des insectes, vivant dans un réseau souterrain de cavernes et de tunnels.

West (comète). Comète découverte le 5 novembre 1975 par le Danois Richard West sur des plaques photographiques obtenues quelque temps auparavant à l'Observatoire européen austral, au Chili, et qui devint très brillante. Désignation officielle : C 1975 VI.

ENCYCL. Elle devint visible à l'œil nu en janvier 1976 et passa à sa plus faible distance du Soleil (30 millions de km environ) le 25 février 1976. Au début de mars, elle apparaissait, avant l'aube, comme un objet assez spectaculaire, de magnitude comprise entre - 1 et - 2, avec une queue de poussière longue de 25 à 30° pour 10 à 15° de large. On assista ensuite à ia fragmentation de son noyau en quatre morceaux.

Westar. Satellites américains géostationnaires de télécommunications intérieures exploités initialement par la Western Union Telegraph Company et à présent par Hughes Communications.

ENCYCL. Lancé le 13 avril 1974, et mis à poste par *99*° de longitude ouest, Westar 1 fut le premier satellite de télécommunications intérieures des États-Unis. Westar 6, largué de l'orbiteur Challenger le 4 février 1984, ne put atteindre l'orbite géostationnaire par suite d'une défaillance de son propulseur d'appoint; récupéré le 14 novembre 1984, lors du 14e vol de la navette spatiale et ra-

mené au sol dans la soute de l'orbiteur Discovery, il a ensuite été revendu à un consortium asiatique pour le compte duquel il a été à nouveau lancé, sous le nom d'Asiasat 1. le 8 avril 1990, par une fusée chinoise Longue Marche 3.

Westerbork (observatoire de). Observatoire néerlandais de radioastronomie. Il renferme un radio-interféromètre à synthèse d'ouverture, mis en service en 1970, qui comporte quatorze antennes paraboloïdales de 25 m de diamètre réparties sur une

ries, il a découvert, avec A. Penzias, en 1965, le rayonnement thermique du fond du ciel à 3 kelvins - confortant ainsi la théorie cosmologique de l'explosion primordiale (Big* Bang) - découverte qui a valu à ses auteurs le prix Nobel de physique en 1978.

WIMP (mot d'argot américain signifiant *mauviette* et sigle de l'angl. *Weakly Interacting Massive Partides,* particules massives interagissant faiblement). Terme utilisé pour désigner d'hypothétiques particules subatomiques lourdes n'interagissant aue faiblement

des océans sans précédent : sections hydrographiques à partir de navires, lâcher et suivi de plusieurs centaines de bouées de surface et de flotteurs immergés à différentes profondeurs, déploiement de courantomètres, mesures de gradients de température, sondages acoustiques actifs, mise en place de marégraphes côtiers ou en eau profonde. Mais ce sont les observations spatiales qui constituent la pièce maîtresse du programme. Outre la collecte des données par le système Argos*, deux autres types de mesures par satellite ont été choisis :

- les mesures des champs de surface : températures et vents. Les vents sont mesurés par une technique radar appelée « diffusométrie » ;
- les mesures intégrant les propriétés de la colonne d'eau : mesures de la topographie de surface par altimétrie* spatiale. C'est le seul moyen d'accès à la variabilité de la circulation générale océanique à l'échelle de la planète.

Le satellite franco-américain Topex-Poséidon et le satellite européen ERS 2 contribuent activement au programme.

Wolf (Max), astronome allemand (Heidelberg 1863-1932).
En 1891, il eut l'idée de substituer à l'observation visuelle l'emploi de la photographie pour la recherche des astéroïdes. Il en découvrit ainsi une quarantaine.

Wolf (nombre de). Indice normalisé, défini par R. Wolf, qui exprime l'importance et la durée des cycles d'activité solaire à partir du nombre de taches et de groupes de taches observés sur le Soleil.
ENCYCL. Cet indice se traduit par la formule $R = k\ (10\ g + f)$, où f représente le nombre de taches, réunies en g groupes, visibles sur le disque solaire à une date donnée, k désignant un coefficient lié à l'observateur et à la qualité des images.

Wolf (Rudolf), astronome suisse (Fàllanden, près de Zurich, 1816 - Zurich 1893).
En s'appuyant sur les observations antérieures disponibles, il établit une courbe de variation de l'activité solaire depuis les premières observations à la lunette, au début du xvif siècle. Il établit aussi les principes d'une statistique des taches solaires, toujours admise à quelques perfectionnements près.

Wolf-Rayet (étoiles de) [de C. Wolf et G. Rayet, qui les ont découvertes en 1867], Type d'étoiles chaudes et massives dont le spectre se caractérise par de larges raies d'émission, spécialement du carbone ou de l'azote, qui proviendraient d'une enveloppe en expansion rapide.

Woomera. Ancienne base de lancement anglo-australienne, en Australie du Sud, près de la localité du même nom. Coordonnées géographiques : 31,1 °S., 136,8 °E.
ENCYCL. Primitivement centre d'essais pour missiles et fusées-sondes, cette base fut utilisée, de 1964 à 1969, pour les dix essais en vol du lanceur européen Europa* 1, qui échouèrent tous. Deux satellites seulement, lancés depuis cette base, ont été placés sur orbite : le petit satellite scientifique australien Wresat, le 29 novembre 1967, par une fusée Sparta, dérivée du missile américain Redstone ; et le satellite britannique Prospéra, le 28 octobre 1971, par le lanceur britannique Black Arrow. Inutilisée ensuite, la base a été fermée en 1976.

x y

X (astronomie). Branche de l'astrophysique qui a pour objet l'étude des sources célestes de rayonnement X.

ENCYCL. On considère habituellement que le rayonnement X couvre le domaine des longueurs d'onde comprises entre 10 et 0,01 nanomètre, entre l'extrême ultraviolet et le rayonnement (. Les énergies correspondantes vont de 0,1 à 100 keV. Le rayonnement X d'origine cosmique, quelle que soit son énergie, est arrêté par l'atmosphère terrestre. L'astronomie X exige donc d'emporter des instruments dans l'espace, à bord de fusées-sondes ou de satellites.

LES SOURCES **X.** Le rayonnement X thermique provient de sources dont la température dépasse un million de kelvins. Le rayonnement X non thermique résulte de processus tels que l'interaction entre des ions et des électrons dans des plasmas ou des réactions nucléaires dans des systèmes stellaires binaires. De nombreuses sources X brillantes correspondent à des étoiles doubles* physiques dont l'une des composantes est une naine* blanche, une étoile à neutrons* ou un trou* noir capturant par accrétion la matière de l'autre composante. Les autres principaux types de sources X célestes sont les restes de supernovae, les noyaux actifs de galaxies et le gaz chaud présent entre les galaxies, au sein des amas de galaxies.

HISTORIQUE. Dès 1948, Herbert Friedman et son équipe, aux États-Unis, détectèrent les rayons X provenant du Soleil.

Il a fallu attendre 1962 pour que soit découverte fortuitement, dans la constellation du Scorpion, grâce à un vol de fusée, la première source X non solaire, Sco X-1. Celle-ci a une luminosité en rayons X 1 000 fois plus grande que celle du Soleil.

En 1964, à la suite d'un autre vol de fusée, H. Friedman réussit à enregistrer la première occultation par la Lune d'une source X déjà détectée, mais non identifiée, dans la constellation du Taureau, Tau X-1. Cela permit de trouver aussitôt la contrepartie optique de la source : la nébuleuse du Crabe*.

Dès 1969, des satellites militaires américains Vela emportèrent des détecteurs de rayonnement X, mais le premier satellite d'astronomie X fut Uhuru*, lancé en décembre 1970, bientôt rejoint par d'autres engins : ANS (américano-néerlandais) en 1975, SAS 3 (américain) en 1977, etc.

Une nouvelle génération de satellites est entrée en service avec le lancement, le 13 novembre 1978, du satellite HEAO 2, appelé aussi Einstein*. Cette nouvelle génération se caractérise par la possibilité de pointer le satellite dans une direction donnée (pendant plusieurs heures si nécessaire), pour permettre de collecter le flux X d'une source sur des miroirs spéciaux. Ces derniers sont constitués de surfaces approximativement coniques dont l'axe est aligné le long de la direction de pointage, les rayons X arrivant alors sous une incidence très faible (« rasante ») et étant ainsi (et seulement ainsi) concentrés vers des détecteurs placés sur un barillet au foyer des miroirs. Le système forme ce qu'on appelle un « télescope X », très différent des dispositifs utilisés antérieurement, qui ne repéraient la position des sources qu'au moyen d'un collimateur.

L'ère des observatoires du type Einstein s'est poursuivie avec des engins tels que l'euro-

péen Exosat*, les japonais Astro*, l'allemand Rosat*, etc. Les satellites X de la prochaine décennie, parmi lesquels l'engin européen XMM*, viseront à améliorer la qualité des informations spectroscopiques sur les sources étudiées, ce qui permettra d'affiner les modèles théoriques relatifs à ces astres.

X (planète). Planète hypothétique du système solaire qui graviterait au-delà de l'orbite de Pluton.
ENCYCL. L'existence d'une planète transplutonienne massive a été envisagée par certains astronomes pour expliquer les perturbations observées du mouvement d'Uranus et de Neptune, depuis que l'on sait que la masse de Pluton est trop faible pour en rendre compte. L'appellation choisie pour désigner cette planète traduit à la fois son caractère hypothétique et le fait que, si on la découvre, elle constituera la Xe planète importante du système solaire. Les recherches effectuées en vue de mettre en évidence cette planète sont, jusqu'à présent, restées vaines. En revanche, depuis 1992, on a découvert des astéroïdes transplutoniens, ce qui accrédite l'hypothèse d'une concentration de petits corps (ceinture* de Kuiper) éloignée du Soleil, et celle-ci contribue sans doute à perturber légèrement le mouvement de Neptune. Par ailleurs, des études récentes semblent indiquer qu'avec les valeurs précises des masses des planètes Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune obtenues grâce aux sondes Voyager*, on ne décèle plus de perturbations inexpliquées dans le mouvement de Neptune.

X. Série d'avions-fusées* expérimentaux américains utilisés de 1947 à 1968.

X 33. Démonstrateur de lanceur américain monoétage réutilisable. Son premier vol, plusieurs fois retardé pour des problèmes techniques, est prévu en l'an 2000.

X 34. Projet de lanceur spatial réutilisable américain.
ENCYCL. Développé par la firme American Space Lines (ASL), issue d'un partenariat entre Orbital Sciences Corp. et Rockwell, ce lanceur est destiné à réduire le coût de lancement en orbite basse de petits satellites pesant jusqu'à 1,2 t. Il entrera en compétition avec d'autres petits lanceurs américains, comme le Pégase*, le Taurus*, le Conestoga* et le LLV *1. Placé, au décollage, sur le dos d'un avion porteur, il sera largué dans l'atmosphère à 11 km d'altitude puis propulsé de manière autonome pendant trois minutes. Ayant atteint la vitesse de 4 km/s, il larguera à son tour un véhicule orbital, qui placera le satellite sur orbite. Il reviendra ensuite se poser sur une piste d'aéroport, à la manière des orbiteurs de la navette spatiale. La première version, appelée X 34A, aura 22 m de long pour 10 m d'envergure et pèsera 34,5 t. Son avion porteur sera un L 1011. Ses deux étages utiliseront un moteur déjà existant à oxygène liquide et kérosène. Un premier vol d'essai a eu lieu le 29 juin 1999. Ce sera un démonstrateur du programme RLV (Reusable Launch Vehicle) de la NASA. Ultérieurement est envisagée une version plus performante, appelée X 34B, de 26 m de long pour 15 m d'envergure, pesant 49, 1 t, et qui sera placée sur le dos d'un Bœing 747.

X 38. Véhicule spatial expérimental américain qui préfigure le CRV, vaisseau spatial de secours de la Station spatiale internationale. Son premier vol atmosphérique a eu lieu le 12 mars 1998 aux Etats-Unis. Son premier vol orbital est prévu en 2001. L'Agence spatiale européenne participe à sa réalisation.

Xichang. Base de lancement chinoise, au sud-ouest de la Chine, dans la province du Sichuan. Coordonnées géographiques : 28,1°N., 102,3 °E.
ENCYCL. Cette base est utilisée pour les lancements de satellites en orbite géostationnaire ou polaire. Le premier lancement réussi, depuis cette base, a eu lieu le 29 janvier 1984.

XMM (sigle de l'angl. *X-ray MultimirrorMission).* Satellite européen destiné à l'imagerie et à la spectrométrie des sources célestes de rayonnement X.
ENCYCL. C'est un satellite de 10 m de long et 4 m de diamètre, pesant 3 900 kg. Il comporte 3 télescopes à incidence rasante, de 7,5 m de focale, formés chacun de 58 coquilles coaxiales de 70 cm de diamètre maxi-

mal, alimentant un ensemble de trois caméras CCD et de deux spectrographes à haut rendement. Cet équipement offre la surface collectrice la plus grande jamais réalisée pour l'observation dans le domaine des rayons X (300 m^2). Il est complété par un moniteur optique destiné à l'identification de la contrepartie visible des sources X détectées et au suivi photométrique. Son lancement, par une fusée Ariane 5, est attendu en l'an 2000. Il sera placé sur une orbite très allongée, d'environ 110 000 km d'apogée et 7 000 km de périgée, inclinée à 40°, qu'il décrira en 48 h. Sa durée de vie prévue est de dix ans.

Yantar. Nom d'une famille de satellites russes de reconnaissance militaire optique dont plusieurs générations ont été lancées depuis les années 1970.

Yerkes (observatoire). Observatoire du département d'astronomie et d'astrophysique de l'université de Chicago, près de Williams Bay (Wisconsin), aux Etats-Unis.
ENCYCL. Situé à 320 m d'altitude, il a été fondé à l'initiative de G.E, Haie* pour abriter la plus grande lunette du monde, dotée d'un objectif de 1,02 m de diamètre et de 19 m de longueur focale. Financé par l'industriel américain Charles T. Yerkes, il a été inauguré en 1897.

Yokhoh (mot japonais signifiant *rayon de soleil).* Satellite japonais d'étude des rayonnements X et y au Soleil. Il a été lancé en août 1991, alors que le Soleil se trouvait dans une période de maximum d'activité. Les images du Soleil qu'il a fournies dans le domaine des rayons X ont une résolution très supérieure à celle des satellites antérieurs.

Young (John W.), astronaute américain (San Francisco, Californie, 1930).
Premier astronaute ayant accompli six missions spatiales (entre 1965 et 1983), un record qu'il partage aujourd'hui avec F.S. Musgrave, J. L. Ross et F.R. Chang-Diaz. -+ **vol habité**

Z

Zarqali (Abu Ishaq Ibrahim ibn Yahya *al-),* dit aussi *Arzachel,* astronome et mathématicien arabe (v. 1029 - Cordoue 1100).
Il inventa divers instruments d'observation du ciel et dressa des tables astronomiques, dites *tables de Tolède.*

Zarya (mot russe signifiant *aube).* Premier raélément de la Station spatiale internationale, lancé par une fusée Proton le 20 novembre 1998.
Construit par la Russie, ce module de contrôle ressemble au bloc central de la station Mir. Il pèse 201, mesure 12 m de long et 3 m de diamètre.

Zeeman (effet). Perturbation des niveaux d'énergie des électrons d'un atome sous l'action d'un champ magnétique, qui se traduit par une modification du spectre de raies d'émission du corps considéré. On observe 3 raies là où, en l'absence de champ, il n'y en aurait qu'une. L'effet Zeeman est très couramment utilisé pour mesurer le champ magnétique des astres.

Zelentchouk. Localité de la République des Karatchaïs-Tcherkesses, au nord du Caucase, près de laquelle est implanté l'observatoire spécial d'astrophysique de l'Académie des sciences de Russie.
ENCYCL. L'observatoire optique abrite, à 2 070 m d'altitude, sur une crête du mont Pastoukhov, un télescope à monture azimutale, doté d'un miroir principal de 6 m de diamètre (pesant 42 t) et logé sous une coupole de 46 m de diamètre. Inauguré en 1975, il a été le plus grand télescope du monde jusqu'à l'achèvement du télescope américain Keck* 1. Les performances de cet instrument restent toutefois inférieures à celles que l'on pouvait espérer d'un télescope de cette dimension, en raison d'une optique qui laisse à désirer (le miroir primaire a déjà été remplacé en 1984) et de conditions d'observation souvent médiocres. Dans une plaine en contrebas est installé le grand radiotélescope en anneau Ratan*-600.

Zemiorka. Lanceur de l'ex-URSS, mis en service en 1957 et le plus utilisé depuis, sous différentes versions.
ENCYCL. Développée à partir de 1953, sous la direction de S. Korolev*, la fusée Zemiorka, appelé aussi R7, était à l'origine un missile intercontinental (d'une portée de 7 000 km), dont le premier tir, le 21 août 1957, fit de l'URSS la première nation à disposer de cet équipement, deux ans avant les États-Unis. Une dizaine d'exemplaires de ce missile, appelé SS-6 Sapwood en Occident, sont devenus opérationnels. Avec sa version spatiale, inaugurée le 4 octobre 1957, l'URSS est devenue la première puissance mondiale à avoir mis en orbite un satellite artificiel de la Terre.
Lancée depuis à plus de 1 600 exemplaires, sous différents modèles (selon les performances souhaitées), cette fusée est, de loin, la plus utilisée au monde. Pesant environ 270 t au décollage, elle offre une structure biétage originale : quatre accélérateurs à ergols liquides (kérosène et oxygène liquide), munis chacun de quatre chambres de combustion et de quatre tuyères, constituent le premier étage ; ils sont disposés autour du corps central servant de second étage, doté d'un moteur de conception analogue à ceux

des accélérateurs mais dont la poussée est modulable et le temps de combustion supérieur. Chaque accélérateur délivre une poussée de 100 000 daN, et le moteur du deuxième étage une poussée maximale de 94 000 daN. Au décoflage, tous les moteurs fonctionnent simultanément (ceux des accélérateurs à plein régime, celui du corps central à poussée réduite) et fournissent une poussée totale de l'ordre de 440 000 daN. En fin de combustion, les accélérateurs se séparent du corps central et la poussée du moteur du second étage atteint sa valeur maximale. Douze petits moteurs verniers assurent le pilotage lors du vol du premier étage, et quatre durant le vol du second étage.

Dans sa première version, la Zemiorka pouvait placer 1 300 kg environ en orbite basse. Pour le lancement des vaisseaux Voskhod, au début des années 60, on lui a adjoint un troisième étage (également à ergols liquides), lui permettant de placer en orbite basse une charge utile dont la masse peut atteindre 7 500 kg. Cette configuration reste utilisée pour le lancement des vaisseaux Soyouz et celui de nombreux satellites Cosmos. Une version encore plus puissante, munie d'un quatrième étage, sert au lancement de sondes interplanétaires : Luna, Venera, Mars...

zénith n.m. (lecture erronée de l'arabe *samt [ar-ra's],* chemin [au-dessus de la tête]). Point de la sphère céleste représentatif de la verticale ascendante, en un lieu donné.

Zenith. Lanceur spatial de la Russie et de l'Ukraine, utilisé en version biétage ou triétage.

ENCYCL. Dans sa version biétage (Zenith 2), mise en service en 1985, il mesure 57 m de haut, pèse 459 t au décollage et permet de placer 13,7 t en orbite circulaire à 200 km d'altitude ou 11,41 en orbite héliosynchrone depuis le cosmodrome de Tiouratam. Complété par un étage (Zenith 3), il peut placer 2 t en orbite géostationnaire. Il sert au lancement de charges utiles en orbite basse ou moyenne jusqu'à 1 500 km d'altitude ainsi qu'à celui des vaisseaux habités Soyouz TM améliorés et des vaisseaux cargos Progress améliorés. Ses performances en font un concurrent des lanceurs Ariane 4 (Europe), Titan 34D (États-Unis), Longue Marche (Chine) et H 2 (Japon).

Les Ukrainiens étudient une version Zenith M4, qui serait dotée d'un 3e et d'un 4e étage à ergols stockables. Une version aéroportée (Svitiaz) est également à l'étude : larguée de l'avion Mrya, elle pourrait placer 9 t de charge utile en orbite basse autour de la Terre ou 11 sur l'orbite géostationnaire. Elle offrirait l'avantage d'autoriser des lancements spatiaux depuis l'Ukraine, qui ne dispose pas de cosmodrome.

Plusieurs vols de fusées Zenith sont prévus pour l'assemblage d'éléments de la future Station* spatiale internationale.

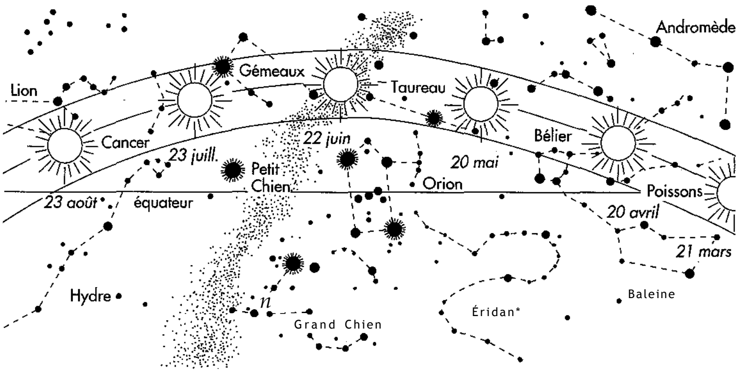
Le lancement, sur orbite polaire, à la fin de 1994, d'un satellite de télédétection Ressource avec, en charge additionnelle, le microsatellite allemand Safir-R, a inauguré une plus large utilisation de la fusée Zenith. Depuis sa mise en service, celle-ci ne servait en effet qu'au lancement de satellites militaires d'écoute électronique ou de reconnaissance.

zénithal, e, aux adj. Relatif au zénith. *Distance zénithale :* distance angulaire d'un point de la sphère céleste au zénith. C'est le complément algébrique de la hauteur. Elle se compte de 0 à 180° à partir du zénith. *Lunette zénithale photographique :* lunette astronomique d'axe vertical spécialement conçue pour photographier les étoiles au voisinage du zénith.

ENCYCL. Cette lunette, mise au point aux États-Unis vers 1950, est souvent désignée par l'abréviation PZT *(Photographie Zenith Tube).* Elle sert à déterminer avec précision les coordonnées de certaines étoiles, dans le but d'établir, notamment, les faibles variations des coordonnées géographiques du lieu d'observation dues aux déplacements du pôle.

zéro g. Expression traduisant l'absence de pesanteur et, d'une façon plus générale, de toute accélération notable telle qu'on peut l'observer dans un vaisseau spatial ou un avion en vol parabolique. Elle ne signifie pas « zéro gravité ».

zodiacal, e adj. Relatif au zodiaque. *Constellations zodiacales :* constellations que traverse l'écliptique. *Lumière zodiacale :* faible



lueur du ciel nocturne, approximativement centrée sur l'écliptique, et due à la diffusion de la lumière solaire sur un nuage de poussières interplanétaires qui s'étend en forme de lentille autour du Soleil (nuage zodiacal).

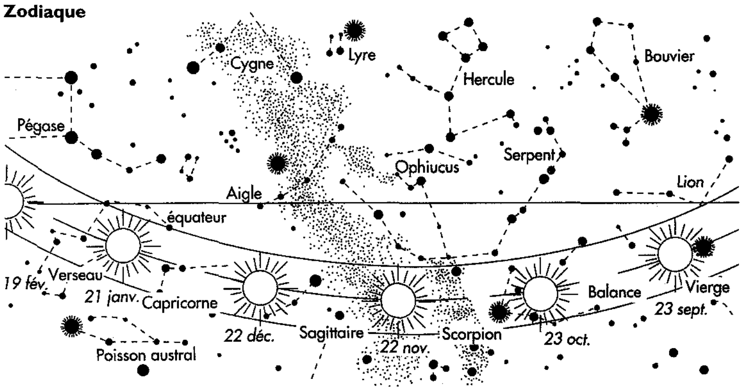
ENCYCL. Lors d'une nuit claire et sans lune, et quand la latitude et la saison sont telles que l'angle écliptique-horizon est grand, la lumière zodiacale se manifeste à l'œil nu comme une portion d'ellipse dont le grand axe est voisin de la trace de l'écliptique et dont le centre se confond avec le Soleil, alors à une vingtaine de degrés au-dessous de l'horizon. Cette lueur devient plus intense en direction de l'écliptique d'une part, du Soleil d'autre part ; des détecteurs plus sensibles que l'œil permettent de constater que, à des niveaux de luminance plus faibles, elle couvre toute la sphère céleste. Son origine zodiacale a été expliquée au XVIIe siècle par Cassini. Aujourd'hui, son étude est un puissant moyen d'investigation du nuage de poussières interplanétaires, encore appelé *nuage zodiacal.* Globalement, la lumière zodiacale constitue un phénomène stable et les fluctuations observées sont mineures. Pourtant, les poussières interplanétaires disparaissent peu à peu du système solaire sous l'effet de la pression du rayonnement solaire ou, à l'opposé, tombent vers le Soleil sous l'effet Poynting-Robertson. Il semble que les comètes et les essaims météoriques qu'elles engendrent constituent des sources qui repeuplent en permanence le nuage zodiacal.

zodiaque n.m. (du grec *dzôdiakos,* de *zôon,* être vivant). Zone de la sphère céleste qui s'étend sur environ 8° de latitude de part et d'autre de l'écliptique et dans laquelle on voit se déplacer le Soleil, la Lune et les planètes principales du système solaire sauf Pluton (*voir* figures).

ENCYCL. Le zodiaque est partagé depuis l'Antiquité en douze signes, qui s'étendent chacun sur 30° de longitude : le Bélier, le Taureau, les Gémeaux, le Cancer, le Lion, la Vierge, la Balance, le Scorpion, le Sagittaire, le Capricorne, le Verseau et les Poissons. Ces signes portent les noms des constellations avec lesquelles ils coïncidaient il y a environ 2 000 ans. À cette époque, le passage du Soleil par le point vernal (équinoxe de printemps) coïncidait avec son entrée dans le signe qui comprenait la constellation du Bélier. Mais, par suite du phénomène de la précession des équinoxes, le point vernal rétrograde sur l'écliptique à raison de 50,26" par an, soit de 30° (ou un signe du zodiaque) en 2 150 ans. De nos jours, à l'équinoxe de printemps, le Soleil a dépassé le milieu de la constellation des Poissons : il existe donc un décalage d'environ une unité entre les signes du zodiaque et les constellations correspondantes. D'autre part, il existe une treizième constellation, Ophiucus (ou le Serpentaire), entre le Scorpion et le Sagittaire, que le Soleil traverse dans son mouvement apparent annuel dans le ciel, mais à laquelle ne correspond aucun signe du zodiaque.

Zond. Engins spatiaux soviétiques utilisés dans les années 60 pour la mise au point de sondes interplanétaires automatiques et de vaisseaux circumlunaires pilotables.

Zodiaque



ENCYCL. Les trois premiers Zond, lancés entre 1964 et 1965, étaient des stations interplanétaires automatiques d'environ 1 t, du même modèle que les sondes « Venera » et « Mars » de première génération, et destinées à résoudre les problèmes de fiabilité rencontrés avec ces derniers engins. Les Zond lancés à partir de 1967 étaient en revanche des vaisseaux pilotables de 5,4 t environ, capables d'aller survoler la Lune et de revenir se poser ensuite sur Terre.

Ils étaient dérivés des vaisseaux pilotés Soyouz*, et lancés par la fusée Proton. Le premier vol réussi, celui de Zond 5, sans cosmonaute à bord, a eu lieu en septembre 1968, et s'est terminé par un amerrissage dans l'océan Indien. Le vol suivant, celui de Zond 6, en octobre 1968, toujours sans équipage, s'est achevé par un atterrissage sur le territoire soviétique après une rentrée dans l'atmosphère contrôlée grâce à la faible portance de la cabine. De cette manière, les décélérations pouvaient être maintenues au-dessous de 7g. Le vol suivant aurait dû être l'envoi d'un cosmonaute autour de la Lune, mais les Soviétiques y renoncèrent. Deux autres vols réussis sans cosmonaute (Zond 7 en 1969 et Zond 8 en 1970) mirent fin à cette série d'expériences.

Zosma. Étoile 6 du Lion. Magnitude apparente visuelle : 2,6. Type spectral : A3. Distance : 57 al. On l'appelle aussi *Duhr.*

Zwicky (Fritz), astrophysicien suisse (Varna, Bulgarie, 1898 - Pasadena, Californie, 1974).

Il a étudié les supemovae ; prédit l'existence des étoiles à neutrons (1935) ; étudié la répartition des galaxies dans l'Univers, postulant dès 1933 l'existence de matière* noire ; il a aussi découvert les galaxies compactes et dressé un catalogue photographique de galaxies.

Annexes

LES GRANDES DATES DE L'ASTRONAUTIQUE MONDIALE

Dates	Événements
4 octobre 1957	Premier satellite artificiel (*Spoutnik <t;* URSS).
3 novembre 1957	Premier être vivant satellisé (chienne *Laïka,* URSS).
31 janvier 1958	Premier satellite américain (*Explorer i,* É-U).
2 janvier 1959	Premier engin spatial échappant à la gravité terrestre (*Luna 1,* URSS, qui survole la Lune le 4.01.59, puis devient la première planète artificielle du système solaire).
17 février 1959	Première photographie de la Terre prise en orbite (*Vanguard 2,* É-U).
13 septembre 1959	Premier impact sur la Lune d'une sonde spatiale (*Luna Z,* URSS).
7 octobre 1959	Retransmission des premières photographies de la face cachée de la Lune *(Luna 3,* URSS).
1er avril 1960	Lancement du premier satellite météorologique (*Tiros 1,* É-U).
22 juin 1960	Premier lancement simultané de deux satellites (*Transit* et *Sohad,* É-U).
11 août 1960	Première récupération d'une capsule spatiale (éjectée par le satellite *Discoverer 13,* É-U).
12 avril 1961	Premier homme satellisé autour de la Terre (*/. Gagarine,* URSS).
5 mai 1961	Vol suborbital du premier astronaute américain (A *Shepard,* É-U).
20 février 1962	Premier vol orbital d'un astronaute américain *(J. Glenn,* É-U).
10 juillet 1962	Lancement du premier satellite actif de télécommunications (*Telstar 1,* É-U), qui permet le 11.07.62 les premières transmissions d'images de télévision au-dessus de l'Atlantique.
14 décembre 1962	Premier survol d'une planète (Vénus) par une sonde spatiale *(Mariner Z,* É-U).
16 juin 1963	Première femme dans l'espace *{V. Terechkova,* URSS).
31 juillet 1964	Retransmission des premières vues rapprochées de la Lune (*Ranger* 7, É-U).
19 août 1964	Lancement du premier satellite géostationnaire (*Syncom 3,* É-U).
12 octobre 1964	Lancement du premier vaisseau spatial habité abritant trois cosmonautes (*Voskhod 1,* URSS).
18 mars 1965	Première sortie extravéhiculaire d'un cosmonaute *(A. Leonov,* URSS).
14 juillet 1965	Retransmission des premières vues rapprochées de la planète Mars *(Mariner 4,* É-U).
26 novembre 1965	Mise en orbite du premier satellite français, *A1,* alias *Astérix.* La France devient la troisième puissance spatiale du monde.

Dates	Événements
3 février 1966	Premier atterrissage en douceur sur la Lune d'un engin spatial (*Luna 9,* URSS).
1er mars 1966	Première traversée de l'atmosphère de Vénus par une sonde spatiale (*Venera* 3, URSS).
3 avril 1966	Première satellisation d'un engin spatial (*Luna 10,* URSS) autour de la Lune.
27 janvier 1967	L'incendie accidentel d'une capsule *Apollo,* au cours d'un entraînement au sol, provoque la mort de trois astronautes américains *(V. Grissom, E. White, R. Ckaffee.)*
24 avril 1967	Par suite de la défaillance de son système de parachutes, la capsule soviétique *Soyouz 1* s'écrase en revenant au sol ; son pilote *(V. Komarov)* est tué.
24 décembre 1968	Premier survol de la Lune par un vaisseau spatial habité *(Apolio 8,* É-U).
16 janvier 1969	Premier amarrage dans l'espace de deux vaisseaux spatiaux habités *(Soyouz 4* et 5, URSS).
21 juillet 1969	Premier débarquement d'astronautes *(N. Amstrong* et *E. Aldrin,* mission *Afolio 11) sur* la Lune.
11 février 1970	Mise en orbite du premier satellite japonais, *Ohsumi.* Le Japon devient la quatrième puissance spatiale du monde.
24 avril 1970	Mise en orbite du premier satellite chinois, *DongFangHong 1.* La Chine devient la cinquième puissance spatiale du monde.
24 septembre 1970	Retour sur la Terre des premiers échantillons du sol lunaire collectés par une sonde automatique *(Luna 16,* URSS).
17 novembre 1970	Mise en service du premier véhicule automatique d'exploration lunaire, *Lunokhod 1,* déposé en douceur par la sonde soviétique *Luna 17.*
15 décembre 1970	Premier atterrissage en douceur sur le sol de Vénus d'une sonde spatiale, *Venera 7* (URSS), qui fonctionne pendant 23 minutes.
19 avril 1971	Satellisation de la première station orbitale, *Saliout 1* (URSS).
28 octobre 1971	Mise en orbite du satellite britannique *Prospero.* Le Royaume-Uni devient la sixième puissance spatiale du monde.
13 novembre 1971	Première satellisation d'un engin spaitaie (*Mariner 9,* É-U) autour de la planète Mars.
3 mars 1972	Lancement de la première sonde spatiale destinée à l'étude de Jupiter *(.Pioneer 10,* É-U).
23 juillet 1972	Mise en orbite du premier satellite de télédétection (*ERTS 1,* alias *Landsat 1,* É-U).
14 mai 1973	Satellisation de la première station spatiale des États-Unis, *Skylab.*
29 mars 1974	Retransmission des premières vues rapprochées de la planète Mercure *(Mariner 10,* É-U).
30 mai 1975	Création de l'Agence spatiale européenne.
17 juillet 1975	Première jonction dans l'espace entre un vaisseau spatial habité des États-Unis et un vaisseau spatial habité de l'URSS (mission *Apollo-Soyouz).*
22 octobre 1975	Retransmission des premières vues du sol de Vénus (*Venera 9,* URSS).
20 juillet 1976	Atterrissage en douceur, sur le sol de la planète Mars, d'un engin spatial, le laboratoire scientifique *Viking 1* (É-U).

Dates	Événements
20 janvier 1978	Lancement du premier vaisseau de ravitaillement automatique d'une station orbitale *(Progress 1,* URSS).
4 décembre 1978	Première satellisation d'un engin spatial *(Pioneer Venus 1,* É-U) autour de la planète Vénus.
1er septembre 1979	Premier survol de la planète Saturne par un engin spatial *(Pioneer 11,* É-U).
24 décembre 1979	Premier lancement (réussi) de la fusée européenne Ariane. L'Europe devient la septième puissance spatiale du monde.
18 juillet 1980	Mise en orbite du satellite indien *Rohini 1.* L'Inde devient la huitième puissance spatiale du monde.
12 mars 1981	100e être humain lancé dans l'espace *(V. Savinikh,* URSS).
12 avril 1981	Premier lancement de la navette spatiale américaine (orbiteur *Columbia).*
1er mars 1982	Premières analyses *in situ* du sol de Vénus *(Venera 13,* URSS).
24 juin 1982	Mise sur orbite du premier spationaute français, *Jean-Loup Chrétien* (mission PVH).
13 juin 1983	Pour la première fois, une sonde spatiale *(Pioneer 10,* É-U) atteint l'orbite de Pluton, planète du système solaire la plus éloignée du Soleil.
7 février 1984	Première utilisation dans l'espace d'un équipement individuel de propulsion autonome, le MMU *(B. McCandless,* É-U).
10-12 avril 1984	Première réparation dans l'espace d'un satellite artificiel *(SMM,* É-U).
25 juillet 1984	Première sortie extravéhiculaire d'une femme dans l'espace *(S. Savitskaïa,* URSS).
16 novembre 1984	Retour sur la Terre, grâce à la navette américaine, des premiers satellites artificiels récupérés dans l'espace *(Palapa BZ* et *Westar é).*
11 et 15 juin 1985	Libération, par les sondes *Vega 1 et Z* (URSS), de deux ballons porteurs d'instruments de mesure, dans l'atmosphère de la planète Vénus.
17 juin 1985	Première participation française à une mission de la navette américaine, avec le spationaute *P. Baudry.*
2 juillet 1985	Lancement de la première sonde spatiale européenne, *Giotto,* destinée à l'étude de la comète de Halley.
30 octobre 1985	Pour la première fois, la navette spatiale américaine transporte huit astronautes.
24 janvier 1986	Retransmission des premières vues rapprochées de la planète Uranus *(Voyager Z,* É-U).
28 janvier 1986	Explosion en vol, 72 s après le décollage, de la navette américaine (orbiteur : *Challenger),* provoquant la mort de sept astronautes.
19 février 1986	Lancement de la station spatiale soviétique *Mir 1.*
13 mars 1986	Survol du noyau de la comète de Halley (à la distance minimale de 596 km) par la sonde européenne *Giotto.*
19 septembre 1988	Mise en orbite du satellite israélien *Offecj* 7. Israël devient la neuvième puissance spatiale du monde.
15 novembre 1988	Premier et unique vol (automatique) de la navette spatiale soviétique *Bourane,* lancée par la fusée *Energia.*
9 décembre 1988	Première sortie extravéhiculaire effectuée par un spationaute européen *(J.-L. Chrétien,* Fr., mission *Aragatz).*

Dates	Événements
21 décembre 1988	Retour au sol de deux cosmonautes soviétiques *(V. Titov* et *M. Manarov)* au terme d'un séjour dans l'espace d'une durée record de 365 j 22 h 40 min.
25 août 1989	Retransmission des premières vues rapprochées de la planète Neptune *(Voyager 2,* É-U).
25 avril 1990	Mise en orbite autour de la Terre du télescope spatial Hubble (É-U/Europe), le plus grand jamais satellisé (2,40 m de diamètre).
6 octobre 1990	Lancement de la sonde européenne *Ulysse,* premier engin spatial conçu pour sortir du plan de l'écliptique.
7 avril 1991	Mise en orbite de l'observatoire astronautique *GRO,* le plus lourd (161) des satellites scientifiques lancés par les États-Unis.
17 juillet 1991	Lancement du premier satellite européen de télédétection, *ERS 4.*
29 octobre 1991	Survol de l'astéroïde Gaspra par la sonde américaine *Galileo.*
13-14 mai 1992	Première sortie extravéhiculaire conjointe de trois astronautes et sauvetage en orbite d'un satellite *Intelsat 6* (mission STS-49, É-U).
10 juillet 1992	Survol du noyau de la comète Grigg-Skjellerup (à la distance minimale de 200 km) par la sonde européenne *Giotto.*
10 août 1992	Lancement du satellite océanographique franco-américain *Topex-Poséidon.*
25 septembre 1992	Lancement de la sonde spatiale américaine *Mars Observer* pour l'étude de la planète Mars.
18 août 1993	Premier essai réussi de *Delta Clipper,* le premier lanceur expérimental des États-Unis à décollage et atterrissage verticaux.
2-13 décembre 1993	Première mission de réparation du télescope spatial *Hubbie.*
4 février 1994	Premier vol réussi du lanceur japonais *HZ.*
13 septembre 1994	Survol du pôle sud du Soleil par la sonde spatiale européenne *Ulysse.*
3 octobre 1994	Début d'*EuroMir 94,* première mission spatiale habitée conjointe entre la Russie et l'Europe.
6 février 1995	Premier rendez-vous spatiale entre la station russe *Mir* et la navette américaine (orbiteur *Discovery).*
29 juin 1995	Premier amarrage de la navette américaine (orbiteur *Atlantis)* à la station orbitale russe *Mir.*
30 juillet 1995	Survol du pôle nord du Soleil par la sonde spatiale européenne *Ulysse.*
17 février 1996	Lancement de la sonde spatiale *NEAR* pour l'étude des astéroïdes.
17 août 1996	Début de la mission *Cassiopée,* avec la première spationaute française, *Claudie André-Deshays.*
4 juillet 1997	Atterrissage de la sonde américaine *Mars Pathfinder* sur la planète Mars.
23 septembre 1997	Décollage, à Kourou, du centième exemplaire du lanceur européen *Ariane.*
15 octobre 1997	Lancement de la sonde américano-européenne *Cassini* pour l'étude de Saturne et de Titan.
30 octobre 1997	Réussite du deuxième lancement *à'Ariane* 5 (vol 502).
4 juin 1998	Dernier amarrage de la navette américaine (orbiteur : *Discovery)* et de la station *Mir.*
20 novembre 1998	Lancement de *Zarya,* premier élément de la Station spatiale internationale.

QUELQUES RECORDS SPATIAUX (MISSIONS HABITÉES)

Nature du record	Nom	Pays	Vaisseau spatial	Date	Performance
Le plus long vol en solitaire					
homme	V. Bikovski	URSS	Vostok 5	*14-19.6.1963*	= 4 j 23 h
femme	V. Terechkova	URSS	Vostok 6	16-19.6.1963	= 2 j 23 h
Le plus long vol en équipage					
• en capsule spatiale	A. Nikolaiev V. Sevastianov	URSS	Soyouz 9	1er-19.6.1970	= 17 j 17 h
• En station orbitale					
homme	V. Poliakov	Russie	Soyouz TM 18 Mir Soyouz TM 20	8.1.1994 22.3.1995	= 437 j 18 h
femme	S. Lucid	États-Unis	Atlantis Mir Atlantis	22.3.1996 26.9.1996	= 188 j 4 h
La plus longue sortie extravéhiculaire					
• en orbite terrestre					
hommes	T. Akers R. Hieb P. Thuot	États-Unis	Endeavour	13-14.5.1992	8 h 30 min
femme	K. Thomton	États-Unis	Endeavour	14-15.5.1992	7 h 47 min
• sur la Lune					
(hommes exclusivement)	H. Schmitt E. Cernan	États-Unis	Apollo 17	12.12.1972	7 h 37 min
Le plus grand nombre d'astronautes lancés simultanément		États-Unis	Challenger	30.10.1985	8

(Données valables au 1er janvier 1999.)

LES PREMIERS SPATIONAUTES NATIONAUX (SITUATION AU Ier MARS 1999)

Pays	Nom	Sexe	Âge	Vaisseau (pays)	Date de lancement	Durée du vol
URSS	I. Gagarine	M	27	Vostok 1 (URSS)	12 avril 1961	1 h 48 min
	V. Terechkova	F	26	Vostok 6 (URSS)	16 juin 1963	70 h 41 min
États-Unis	A. B. Shepard	M	37	Mercury/MR 3 (É-U)	5 mai 1961	15 min 22 s*
	J. H. Glenn	M	40	Mercury/MA 6 (É-U)	20 février 1962	4 h 55 min 23 s "
	S. K. Ride	F	32	Challenger (É-U)	18 juin 1983	= 6 jours
Tchécoslovaquie	V. Remek	M	29	Soyouz 28/Saliout 6 (URSS)	2 mars 1978	= 8 jours
Pologne	M. Hermaszzewski	M	36	Soyouz 30/Saliout 6 (URSS)	27 juin 1978	≃ 8 jours
Allemagne de l'Est	S. Jâhn	M	41	Soyouz 31/Saliout 6 (URSS)	26 août 1978	= 8 jours
Bulgarie	G. I. Ivanov	M	38	Soyouz 33 (URSS)	10 avril 1979	» 2 jours***
Hongrie	B. Farkas	M	30	Soyouz 36/Saliout 6 (URSS)	26 mai 1980	= 8 jours
Viêt-nam	P. Tuan	M	33	Soyouz 37/Saliout 6 (URSS)	23 juillet 1980	=- 8 jours
Cuba	A. T. Mendez	M	38	Soyouz 38/Saliout 6 (URSS)	18 septembre 1980	= 8 jours
Mongolie	J. Gourragtcha	M	33	Soyouz 39/Saliout 6 (URSS)	22 mars 1981	= 8 jours
Roumanie	D. Prunariu	M	28	Soyouz 40/Saliout 6 (URSS)	15 mai 1981	= 8 jours
France	J.-L. Chrétien	M	43	Soyouz T6/Saliout 7 (URSS)	24 juin 1982	= 8 jours
Allemagne de l'Ouest	U. Merbold***	M	42	Columbia (É-U)	28 novembre 1983	— 10 jours
Inde	R. Sharma	M	35	Soyouz Tll/Saliout 7 (URSS)	3 avril 1984	<* 8 jours
Canada	M. Gameau	M	35	Challenger (É-U)	5 octobre 1984	» 8 jours
	R. L. Bondar	F	46	Discovery (É-U)	22 janvier 1992	= 8 jours
Arabie Saoudite	A. A. Al-Saud	M	28	Discovery (É-U)	17 juin. 1985	= 7 jours
Pays-Bas	W. Ockels*"*	M	39	ChaËenger (É-U)	30 octobre 1985	=- 7 jours
Mexique	R. Neri-Vela	M	33	Atlantis (É-U)	26 novembre 1985	= 7 jours
Syrie	M. Paris	M	36	Soyouz TM3/Mir (URSS)	22 juillet 1987	= 8 jours
Afghanistan	A. A. Mohmand	M	29	Soyouz TM6/Mir (URSS)	29 août 1988	= 9 jours
Japon	T. Akiyama	M	48	Soyouz TM11/Mir (URSS)	2 décembre 1990	= 8 jours
	C. Mukai	F	42	Columbia (É-U)	8 juiËet 1994	= 14,5 jours
Royaume-Uni	H. Sharman	F	27	Soyouz TM12/Mir (URSS)	18 mai 1991	≃ 8 jours

Pays	Nom	Sexe	Âge	Vaisseau (pays)	Date de lancement	Durée du vol
Autriche	E Viehbôck	M	31	Soyouz TM13/Mir (URSS)	2 octobre 1991	≃ 8 jours
Russie*****	A. Viktorenko A. Kaleri	M M	44 35	Soyouz TM 14/Mir (Russie)	17 mars 1992	= 145 jours
Belgique	D. Erimout	M	51	Atlantis (É-U)	24 mars 1992	= 9 jours
Suisse	C. Nicollier****	M	47	Atlantis (É-U)	31 juillet 1992	≃ 8 jours
Italie	F. Malerba****	M	45	Atlantis (É-U)	31 juillet 1992	= 8 jours
Kazakhstan	T. Moussabaïev	M	43	Soyouz TM19/Mir (Russie)	1er juillet 1994	= 127 jours
Espagne	P. Duque	M	35	Discovery (É-U)	29 octobre 1998	= 9 jours
Ukraine	L. Kadeniouk	M	46	Columbia (É-U)	19 novembre 1997	= 15,5 jours
Slovaquie	I. Bella	M	35	Soyouz TM29/Mir (Russie)	20 février 1999	≃ 8 jours

* Vol suborbital.

" Vol orbital.

*** Échec de l'amarrage à Saliout **6.**

**** A volé en tant qu'astronaute européen (ESA).

***** Premier vol de la Russie.

LES BASES DE LANCEMENT DANS LE MONDE

Pays	**Base**	**Latitude**	**Longitude**	**Date du 1er lancement réussi (satellite)**
CEI (Kazakhstan)	Tiouratam (Baïkonour)	45,6° N.	63,4° E.	4 octobre 1957 (Spoutnik 1)
Russie	Kapoustine Iar	48,4° N.	45,8° E.	16 mars 1962 (Cosmos 1)
Russie	Plessetsk	62,8° N.	40,1° E.	17 mars 1966 (Cosmos 112)
Russie	Svobodny	51,4° N.	128° E.	4 mars 1997 (Zeïa)
États-Unis (Floride)	Cap Canaveral, Centre spatial Kennedy	28,5° N.	80,6° 0.	1er février 1958 (Explorer 1)
États-Unis (Californie)	Vandenberg	34,7° N.	120,6° O.	28 février 1959 (Discoverer 1)
États-Unis (Virginie)	Wallops Island	37,9° N.	75,5° O.	16 février 1961 (Explorer 9)
France	Centre spatial guyanais, Kourou	5,2° N.	52,8° O.	10 mars 1970 (Dial)
Italie	San Marco	2,9° S.	40,3° E.	26 avril 1967 (San Marco 2)
Japon	Kagoshima	31,2° N.	131,1° E.	16 février 1970 (Ohsumi)
	Tanegashima	30,4° N.	131,0° E.	9 février 1975 (Kiku 1)
Chine	Jiuquan	40,6° N.	99,9° E.	24 avril 1970 (Dong Fang Hong 1)
	Xichang	28,2° N.	102,0° E.	29 avril 1984 (STW 1)
	Taiyuan	37,5° N.	112,6° E.	6 septembre 1988 (Feng Yun 1)
Inde	Sriharikota	13,7° N.	80,2° E.	18 juillet 1980 (Rohini RS1)
Israël	Palmachim	31,5° N.	34,4° E.	19 septembre 1988 (Offeq 1)
n	Sea Launch/ Odyssey	Base flottante équatoriale		28 mars 1999
Brésil	Alcântara	2,3° S.	44,3° 0.	Mise en service attendue en 1999

(*) Base financée par les États-Unis, la Russie, la Norvège et l'Ukraine.

LES PRINCIPAUX LANCEURS EN SERVICE EN 1999

Nom (pays)	Hauteur	Nbre d'étages	Ergols	Propul-seurs d'appoint	Masse et poussée au décollage	Masse satellisée OB (1)	Masse satellisée OTG (2)	Premier vol réussi
Soyouz (Russie)	-49 m	2	liquides	4	- 3001 - 4 800 kN	~7t	-	1963
Proton K (Russie)	-60 m	3 ou 4	liquides	0	- 700 t - 8 800 kN	-211	-4,5 t	1967
Zenith 2 (Russie/ Ukraine)	-57 m	2	liquides	0	- 460 t - 7 300 kN	-131	-	1985
Delta 2 (7925) (Etats-Unis)	-40 m	3	ét. 1 et 2 : liquides ; ét. 3 : solide	9	~ 2301 ~ 3 500 kN	-	-1,8 t	1990
Atlas 2AS (Etats-Unis)	-45 m	2	liquides	4	~ 2301 - 2 700 kN	~8,6t	- 3,71	1993
Titan 3 commercial (Etats-Unis)	-46 m	2 ou 3	liquides	2	- 6801 ~ 12 500 kN	- 14t	~4,6t	1990
Navette (Etats-Unis)	~ 56 m	1	liquides	2	- 2 0001 - 30 800 kN	~ 30 t	-	1981
Ariane 4 (44 L) (Europe)	-58 m	3	liquides	4	- 4701 - 5 400 kN	-1O t	~4,7t	1989
Ariane 5 (Europe)	-50 m	2	liquides	2	- 7501 - 11 700 kN	—18 t	- 6,8 t	19 97
H2 (Japon)	-51 m	2	liquides	2	- 2801 - 4 000 kN	- 9,41	~ 41	1994
PSLV (Inde)	-44 m	4	ét. 1 et 3 : solide ét. 2 et 4 : liquides	6	- 2801 - 4 500 kN	-3 t	-	1994
Longue Marche 2E (Chine)	-51 m	2	liquides	4	- 460 t - 5 600 kN	- 71	-2,9 t	1990

(1) Orbite basse.
(2) Orbite de transfert géostationnaire.

LES PUISSANCES SPATIALES

Puissances spatiales	Date de la 1re satellisation réussie	Lanceur utilisé	Charge utile satellisée
Russie	4 octobre 1957	R7	Spoutnik 1
États-Unis	31 janvier 1958	Jupiter	Explorer 1
France	26 novembre 1965	Diamant A	Astérix Al
Japon	11 février 1970	Lambda 4s	Oshumi
Chine	24 avril 1970	Longue Marche 1	Dong Fang Hong 1
Grande-Bretagne	28 octobre 1971	Black Arrow	Prospero
Europe (ESA)	24 décembre 1979	Ariane 1	CAT1
Inde	18 juillet 1980	SLV3	Rohini RS1
Israël	19 septembre 1988	Shavit	Offeql

AIDE-MÉMOIRE D'ASTRONAUTIQUE

Loi de l'attraction universelle :

$$F = G \cdot \frac{m \cdot m'}{d^2}$$

avec G (constante de la gravitation) = $6{,}67 \cdot 10^{-11}$ unité SI, *m* et m'la masse des corps et r leur distance.

Vitesses cosmiques

• Première vitesse cosmique
(ou vitesse de satellisation en orbite circulaire) :

$$V_c = \sqrt{\frac{GM}{R + h}}$$

avec M, masse du corps attracteur, R, son rayon et *h*, l'altitude considérée.

• Deuxième vitesse cosmique
(ou vitesse parabolique, vitesse d'évasion ou de libération) :

$$V_e = V_c \cdot \sqrt{2}$$

• Cas particulier de la Terre

Altitude (km)	0	200	400	800	36 000
V_c (km/s)	7,91	7,78	7,66	7,45	3,07
V_e (km/s)	11,18	11,01	10,84	10,54	4,34

• Autres corps célestes
(pour *h* = 0, soit à la surface du corps)

Astre	Soleil	Mercure	Vénus	Lune	Mars	Jupiter	Saturne	Uranus	Neptune	Pluton
V_e (km/s)	620	4,25	10,36	2,38	5,02	59,64	35,41	21,41	23,52	?

Accélération de la pesanteur d'un astre :

$$g = \frac{GM}{(K+h)^2}$$

• Valeur moyenne de l'accélération de la pesanteur à la surface terrestre : 9,81 m • s^2.

• Autres corps célestes (pour *h = 0)*

Astre	Soleil	Mercure	Vénus	Lune	Mars	Jupiter	Saturne	Uranus	Neptune	Pluton
g	28	0,37	0,88	0,16	0,38	2,64	1,15	1,17	1,18	?
(Terre = 1)										

Caractéristiques d'un satellite artificiel

• **Période orbitale :**

$$T = 2\,\pi = \sqrt{\frac{a^3}{GM}}$$

avec a, demi-grand axe de l'orbite.
(Valeur approchée : T # a$^{s'2}$ • 10"^{2}, dans laquelle a est exprimé en kilomètres et T en secondes.)

• **Longueur d'une orbite elliptique (valeur approchée) :**

1 = 2 ^ (1 - - f)

avec *a,* **demi-grand axe, et** *e,* **excentricité de l'orbite.**

• **Vitesse instantanée :**

$$^{v}=V^{GM}(-f - i)$$

avec *r,* **distance du satellite au centre de l'astre attracteur.**

• **Vitesse d'injection au périgée :**

$$v_p = \sqrt{GM\left(\frac{2}{r_p} - \frac{1}{a}\right)}$$

avec r_F, distance du périgée au centre de l'astre attracteur.

• **Vitesse à l'apogée :**

$$v_a = v_p \cdot \frac{r_p}{r_a}$$

avec *r_a,* **distance de l'apogée au centre de l'astre attracteur.**

N° de projet 100 68538 (I) 6 (BSBM 80)
Dépôt légal : septembre 1999
Imprimé en France. 572 332-01
Achevé d'imprimer sur les presses de
MAME Imprimeurs à Tours (n° 99082025)
Flashage numérique CTP

MAME

LES RÉFÉRENTS

Dictionnaire de l'Astronomie et de l'Espace

PHILIPPE DE LA COTARDIÈRE
JEAN-PIERRE PENOT

Ce dictionnaire résulte de la fusion du « Dictionnaire de l'astronomie » et du « Dictionnaire de l'espace » parus dans la collection « Références », en 1995 et 1996 respectivement. La plupart des articles ont été mis à jour et de nouvelles entrées ont été introduites : la **Cité de l'espace** (un lieu d'exposition à Toulouse), la notion de **constellation de satellites** (dont la mise en service d'**Iridium**), les lanceurs chinois **Longue Marche**, la comète **Hale-Bopp**, la sonde **Lunar Prospector** (qui a détecté de la glace sur la Lune), les résultats des missions **Mars Pathfinder** (et du petit robot **Sojourner**) et **Galileo** (étude de Jupiter et de ses principaux satellites), les futures sondes d'exploration **Mars Express** et **Mars Sample Return** auxquelles participe largement la France, le successeur du télescope spatial Hubble **NGST**, la base spatiale flottante **Sea Launch**, les premiers éléments de la station spatiale internationale (**Zarya**, **Unity**...).

Le rassemblement des thèmes de l'astronomie et de l'aventure spatiale constitue un document de référence unique et original. Au total, plus de 2 500 entrées présentent les termes et notions fondamentales de l'astronomie et de l'astronautique (objets célestes, observatoires et télescopes du monde, programmes spatiaux, biographie des figures de l'astronomie et de la conquête de l'espace)...

L'ouvrage s'adresse aux amateurs d'astronomie et aux passionnés de l'aventure spatiale. Il constitue aussi un petit outil de référence précieux pour les spécialistes (étudiants, astronomes, industriels ou ingénieurs du secteur spatial) hors du champ strict de leur spécialité.

Philippe de La Cotardière, écrivain et journaliste scientifique, a présidé la Société astronomique de France de 1987 à 1993.
Jean-Pierre Penot, ingénieur au Centre national d'études spatiales (CNES) depuis 1973, y est aujourd'hui responsable des documents pédagogiques.

9782037203326

En couverture : Vue détaillée d'une région de formation d'étoiles au cœur de la nébuleuse d'Orion, prise par le télescope spatial Hubble.
Création graphique : Jean Castel

LAROUSSE